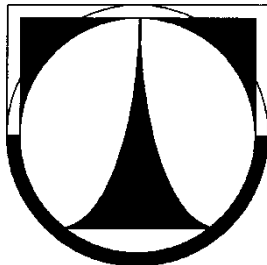


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



CHLAZENÉ VÝFUKOVÉ POTRUBÍ SPALOVACÍHO MOTORU

**WATER COOLED EXHAUST MANIFOLD OF STATIONARY
ENGINE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

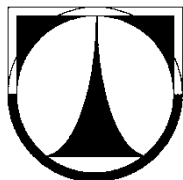
Martin Drmla

Květen 2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor 23 – 17 – 8

Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření

Pístové spalovací motory

CHLAZENÉ VÝFUKOVÉ POTRUBÍ SPALOVACÍHO MOTORU

**WATER COOLED EXHAUST MANIFOLD OF STATIONARY
ENGINE**

Bakalářská Práce

KVM – BP – 232

Martin Drmla

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D

Konzultant diplomové práce: Ing. Jakub Melicherík

Počet stran: 47

Počet obrázků: 29

Počet příloh: 2

Počet výkresů: 16

Květen 2012



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra vozidel a motorů

Studijní rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení
obor

Martin D R M L A
B2341 Strojirenství

zaměření

2302R022 stroje a zařízení
dopravní stroje a zařízení

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

CHLAZENÉ VÝFUKOVÉ POTRUBÍ SPALOVACÍHO MOTORU

Zásady pro vypracování:

(uved'te hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. V řešební části proved'te průzkum problematiky chlazení výfukového potrubí pístových spalovacích motorů z hledisek účelu a konstrukčních provedení. Zaměřte se na oblast stacionárních a důlních provedení motorů.
2. Zjistěte prostorové možnosti v okolí současného výfukového potrubí motoru fy Tedom a.s., divize Motory a navrhňte varianty možných řešení chlazení s ohledem na konkrétní požadavky výrobce.
3. Vyberte nejvhodnější variantu z hlediska funkce a vhodné výrobní technologie. Vyhotovte úplnou výkresovou dokumentaci.
4. Cílem je použitelnost u zadavatele BP – fy Tedom a.s., divize Motory.

Forma zpracování bakalářské práce:

Průvodní zpráva - v rozsahu cca 40 stran textu, vč. příloh.

Text celé bakalářské práce včetně příloh a výkresové dokumentace bude v elektronické formě přiložen na CD nosiči přiloženému k tištěnému svazku originálu bakalářské práce.

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

1. Publikace a prospektové materiály výrobců stacionárních a důlních motorů dostupných na stránkách internetu.
2. Výkresová dokumentace motoru zadavatele.
3. Publikace o konstruování tvarově složitých odlitků.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D., TU v Liberci, KVM

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jakub Melicherík, Tedom a.s., divize Motory, Jablonec n.N.

L.S.

Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 1. 11. 2011

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ).
Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Název

CHLAZENÉ VÝFUKOVÉ POTRUBÍ SPALOVACÍHO MOTORU

Anotace

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí chlazeného výfukové potrubí na stacionární spalovací motor firmy Tedom. V první části je proveden průzkum problematiky chlazeného výfukového potrubí z hlediska účelu a konstrukce. V druhé části jsou pak popsány požadavky firmy Tedom, proveden průzkum zástavbového prostoru a popsány možné varianty řešení. Poslední část se zabývá popisem a konstrukcí nejvhodnější varianty.

Klíčová slova: chlazené výfukové potrubí, stacionární motor, kogenerační jednotka, důlní motory, lodní motory, Tedom, chlazení

Title

WATER COOLED EXHAUST MANIFOLD OF STATIONARY ENGINE

Annotation

The subject of the Bachelor thesis is design of water cooled manifold for Tedom stationary engine. The first chapter is about exploration of cooling exhaust manifold. Second chapter is about requirements of water cooled exhaust manifold. The space for exhaust manifold and possible option of solutions are described. In the third chapter is described the most suitable design of water cooled exhaust manifold.

Key words: water cooled exhaust manifold, stationary engine, cogeneration unit, mine engine, maritime engine, Tedom, cooling

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
Dokončeno: 2012
Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Vdne.....

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu prof. Ing. Celestýnu Scholzovi, Ph.D za jeho odborné vedení při vypracování této práce. Můj dík patří též mému konzultantovi panu Ing. Jakubu Melicheríkovi za pomoc a cenné rady.

Seznam symbolů a jednotek

P	výkon	[W]
T	teplota	[°C]
ppm	množství částic z milionu	[ppm]
p	tlak	[bar]
f	frekvence v el. síti	[Hz]
n	otáčka za minutu	[min ⁻¹]
P _{el}	elektrický výkon	[VA]
p	tlak	[Pa]
F	síla	[N]
Mk	moment síly, krouticí moment	[Nm]
HB	měření tvrdosti dle Brinella	
Mo	molybden	
Si	křemík	
CNG	zemní plyn	
O ₂	kyslík	
N ₂	dusík	
H ₂ S	sirovodík	
H ₂	vodík	
CO ₂	kysličník uhličitý	
CH ₄	metan	

Obsah

Úvod	5
1 Průzkum problematiky chlazení výfukového potrubí.....	6
1.1 Použití chlazeného výfukového potrubí v lodních motorech.....	6
1.2 Použití spalovacích motorů v dolních podmínkách.....	10
1.3 Kogenerační jednotky	12
2 Současné řešení výfukového potrubí a zástavbový prostor	16
2.1 Motory firmy Tedom a jejich použití	16
2.2 Současné řešení sběrného výfukového potrubí	19
2.3 Chlazené sběrné výfukové potrubí firmy Tedom – svařenec.....	23
3 Konstrukce chlazeného výfukového potrubí	25
3.1 Požadavky na chlazené výfukové potrubí	25
3.2 Návrhy možných variant řešení	27
3.3 Vlastní konstrukční řešení chlazeného výfukového potrubí.....	32
Závěr	44
Seznam použité literatury	45
Seznam příloh:	47
Seznam výkresů:	47

Úvod

V aplikacích, které jsou obvyklé pro náš region, není chlazení výfuku běžně používáno. Při použití spalovacího motoru v automobilu není nutné chladit výfukové potrubí, ani spaliny vycházející z výfuku. Stejně je tomu při použití spalovacího motoru v drážní aplikaci.

Relativně dlouhou tradici má chlazení výfukového potrubí v lodní dopravě. Nutnost ochladit povrch výfuku a spaliny vedla lodní konstruktéry k vývoji nejrůznějších principů chlazení výfukového potrubí. Všechna tato opatření mají za účel snížit bezpečnostní riziko požáru a usnadnit odvod spalin.

Ochladit povrch výfuku i výfukových spalin je nutné všude tam, kde motor pracuje v atmosféře náchylné ke vznícení. Typické prostředí s těmito vlastnostmi je v hlubinných dolech, protože atmosféra v dolech je bohatá na metan. Rizikem je i vznícení uhelného prachu.

V poslední době se též rozmáhá používání kogeneračních jednotek k výrobě elektřiny a tepla. Teplo se získává přestupem odpadního tepla spalovacího motoru do otopného systému. Ochlazením výfukového potrubí lze zvýšit množství získaného odpadního tepla do topného okruhu a tím zvýšit účinnost celé kogenerační jednotky.

Z výše uvedeného vyplývá, že primární důvod k chlazení výfukového potrubí je vždy jiný. Z toho vyplývá i postup při návrhu konkrétního chlazeného výfukového potrubí pro konkrétní typ motor a konkrétní aplikaci. Konstruování výfuku na již existující typ motoru je o to složitější, že je konstruktér značně omezen již existujícím zástavbovým prostorem.

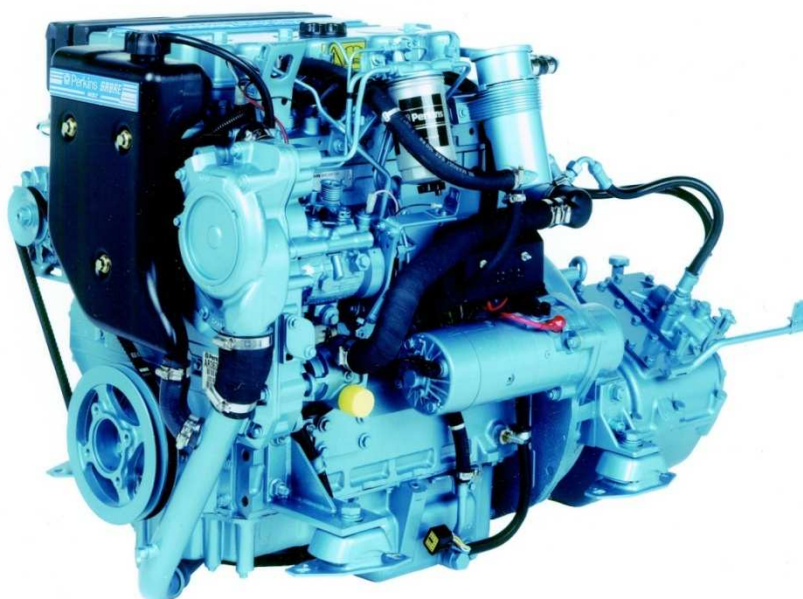
Cílem této Bakalářské práce je provést průzkum oblasti chlazení výfukového potrubí. Zjistit stávající stav chlazení výfukového potrubí u firmy Tedom. Navrhnout možné varianty řešení dle požadavků firmy Tedom. Následně vybrat nejvhodnější variantu. Popsat ji z hlediska konstrukčního a technologického a vyhotovit úplnou výkresovou dokumentaci.

1 Průzkum problematiky chlazení výfukového potrubí

1.1 Použití chlazeného výfukového potrubí v lodních motorech

Zcela specifickou aplikací je chlazení výfukového potrubí u malých rychlých člunů s velmi výkonnými motory. V takových to případech je nutné umístit motor i se vším jeho příslušenstvím do malého zástavbového prostoru člunu. Výfukové potrubí je velmi horké, teplota výfukových spalin může dosahovat i více než 800 °C, a pokud by takto horké výfukové potrubí vedlo blízko málo teplu odolné stěny člunu, mohlo by dojít k poškození stěny. Riziko přehřátí motoru v uzavřeném prostoru a riziko vzniku požáru je též značné. V tomto případě je k chlazení využívána přímo okolní voda nebo pouze okolní vzduch. Chlazení vzduchem je jednodušší, má menší hmotnost, ovšem nemusí být ovšem vždy dostatečné a nese s sebou rizika a proto se používá pouze v závodních speciálech. I když je chlazení okolní vodou výhodné z hlediska jednoduchosti, hmotnosti a nízké teploty okolní vody, nese s sebou nevýhody v podobě nutnosti filtrace vstupní vody a nutnosti ochrany součástí z hlediska koroze, které přijdou do styku s chladicí vodou.

Ovšem i u větších lodí je potřeba chlazení výfukového potrubí. Strojovny lodí nejsou, na rozdíl od motorových prostorů automobilů či letadel, chlazeny proudícím vzduchem. Lodní motor je z pravidla uložen hluboko v podpalubí. Z bezpečnostního hlediska je tedy nutné udržovat rozumnou teplotu ve strojovně. Tomu významně pomůže chlazení výfukového potrubí – nejteplejší části motoru. V poslední době je stále běžnější, že je

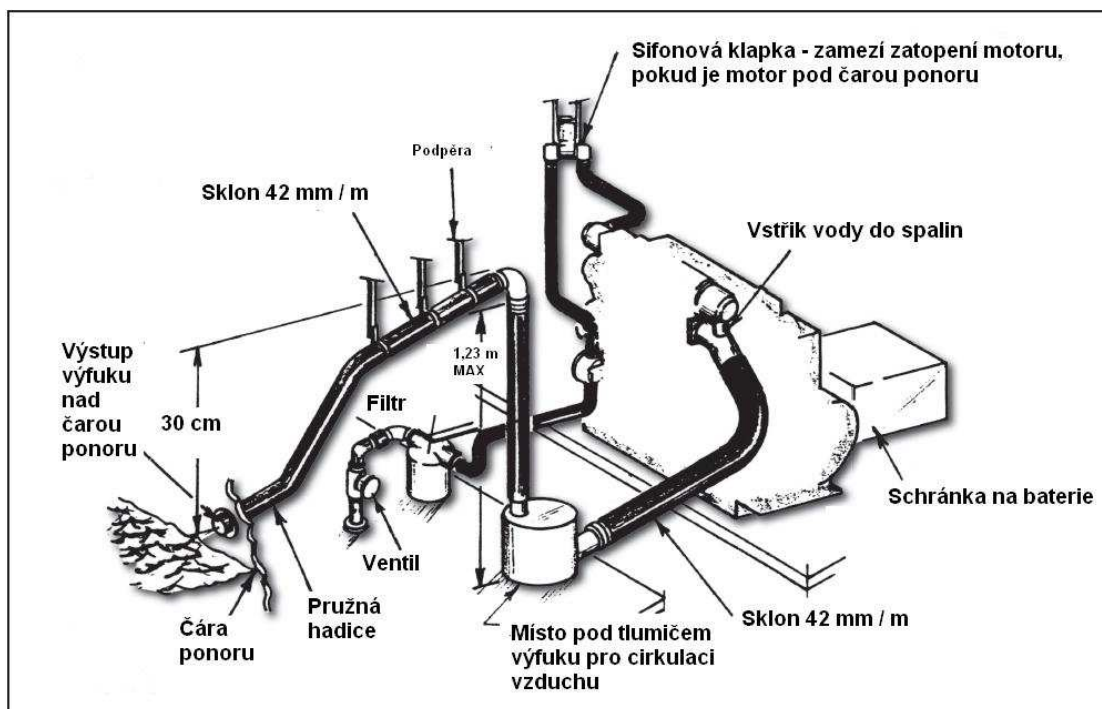


Obrázek 1 - Lodní motor Perkins M92 [12]

chladicí okruh uzavřen a je použito běžné chladicí kapaliny. Chladicí kapalina vystupující z chlazeného výfuku neprochází běžným chladičem a nepředává teplo vzduchu, ale vstupuje do výměníku, kde předává teplo okolní vodě procházející výměníkem.

Chlazení spalin – „vlhký výfuk“

Dalším používaným systémem ochlazení spalin u lodních motorů je vstřikování okolní vody do výfukového potrubí – „vlhký výfuk“. Okolní voda je vstřikována z pravidla za chlazeným výfukovým potrubím, popřípadě až za turbínou, přímo do proudících spalin. Spaliny se takto ochladí až na teplotu kolem 200 °C. Takto ochlazené spaliny je možné odvést již méně tepelně odolným potrubím – pružnou hadicí, které není nutno izolovat od okolí a lze jej vést snáze než trubku. Takovéto vedení nepředstavuje výrazné bezpečnostní riziko požáru, je méně náchylné na korozi a lépe absorbuje vibrace motoru – zvláště je-li uložen pružně na silent blocích. Jelikož je lodní motor hluboko v podpalubí a výfukové potrubí je dlouhé, je toto velký přínos. Snížení teploty spalin s sebou nese i úměrné snížení objemu spalin. Toto má za následek i snížení hluku. Jistým bezpečnostním rizikem tohoto systému je možnost zatopení výfukového potrubí. Jelikož je lodní motor často umístěn pod vodní hladinou, popřípadě se pod úroveň vodní hladiny dostane naložením lodi a tím zvýšeným ponorem, při nesprávné funkci či

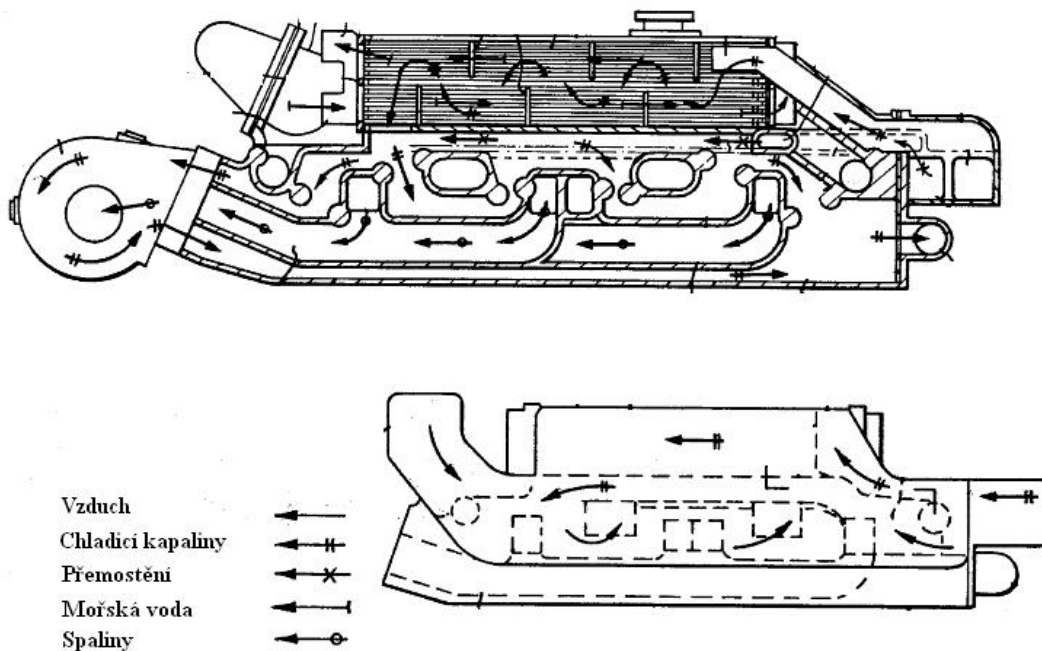


Obrázek 2 - Funkční schéma chlazení výfukových spalin - vlhký výfuk [11]

instalaci tohoto zařízení může dojít k zatopení výfuku, motoru a následnému potopení lodi.

Chlazený výfuk firmy Perkins

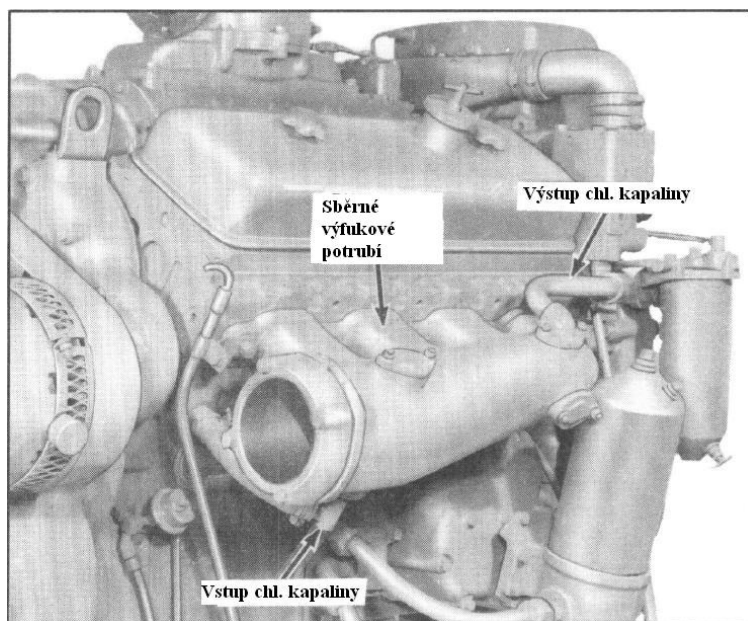
Firma Perkins patří mezi přední výrobce lodních motorů. Se zajímavým řešením chlazení výfukových svodů přišla firma v roce 1978, popsáním patentem United States Patent F01N 7/06. Jde o kombinaci sacího i výfukového potrubí obaleného chladicí kapalinou, v tomto případě okolní (mořskou) vodu, a chladicí kapalinou motoru. Na obrázku 3. je skica odlitku tohoto zařízení. Spaliny vystupují z motoru a procházejí výfukovými svody, obalenými chladicí kapalinou motoru, do turbíny. Správná teplota chladicí kapaliny je udržována regulačním ventilem. Plnicí vzduch stlačený dmychadlem prochází chladičem vzduchu, obaleným chladicí kapalinou. Správnou teplotu chladicí kapaliny zajišťuje, spolu s ventilem, druhé medium proudící celým zařízením – mořská voda. Celé zařízení je zhotoveno jako jediný odlitek, což usnadňuje montáž.



Obrázek 3 - chlazené výfukové potrubí firmy Perkins [8]

Konstrukce chlazeného výfuku u lodních motorů

Z výše uvedených informací tedy vyplývá, že chlazené výfukové potrubí na lodi má jako hlavní úkol snížit teplotu spalin a snížit teplotu ve strojovně. Z tohoto důvodu není nutné chladit úplně celý povrch výfuku. Jako výhodné, pro tento účel, se jeví vynechat chlazení jednotlivých svodů. Tyto svody bývají krátké a jejich plocha malá a tudíž i množství vyzářeného tepla je relativně malé. Tím se velmi zjednoduší nároky na cirkulaci vody, i nároky na technologii výroby. Z obrázku 4. je vidět umístění chlazeného výfukového potrubí na lodním motoru. Výfukové potrubí je obaleno pláštěm vody. Pláštěm vody nejsou obaleny jednotlivé svody. Chladicí kapalina vstupuje na jedné straně výfuku spodem a na druhém konci výfuku vystupuje horem. Sací potrubí je namontováno do hlavy válců z druhé strany, což velmi usnadní montáž chlazeného výfukového potrubí, které je oproti nechlazenému výfukovému potrubí náročnější na zástavbový prostor.



Obrázek 4 – typické umístění chlazeného sběrného výfukového potrubí na motoru [10]



Obrázek 5 – chlazené sběrné výfukové potrubí – jednotlivé svody nejsou chlazeny [13]

1.2 *Použití spalovacích motorů v důlních podmínkách*

Používání technických zařízení v dolech s sebou nese značná bezpečnostní rizika. V hlubinných dolech se vyskytuje tzv. důlní plyn, jehož hlavní složkou je metan. V hlubinných uhelných dolech se vyskytuje uhlenný prach. I při kvalitní ventilaci dolu existuje značné riziko vznícení důlního plynu nebo uhelného prachu. Proto veškerá technika použitá v dolech musí odpovídat zákonu České národní rady č. 61/1988Sb, o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě.

Spalovací motory použité v důlních podmínkách musí být zabezpečeny proti možné iniciaci vznícení důlního plynu a uhelného prachu. Je nutno nejen důkladně ochladit spaliny vystupující z výfuku, ale i horké části motoru a zejména nejteplejší část motoru, výfuk. Teplota povrchu nechlazeného výfuku může dosahovat až k 700°C. Takováto teplota je již dostatečně vysoká pro vznícení důlního plynu, popřípadě pro vznícení uhelného prachu usazeného na výfuku. K dodržení bezpečnosti je též nutné upravit veškeré příslušenství motoru pro důlní použití. Nutností je tak použití nevýbušného startéru či nevýbušného alternátoru. Některé další normy upravují vyhlášky národních států. Například dle vyhlášky NSW DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRIES (Oddělení pro těžební průmysl Nového Jižního Walesu, Austrálie) jsou určena tato pravidla a požadavky pro dieselové motory (stručný výtah):

1. Motor musí zůstat v provozu i v případě nestandardního spalování způsobeného přítomností metanu v nasávaném vzduchu.
2. Motor musí být opatřen ventilem umístěným v sacím potrubí, který v případě nutnosti okamžitě zastaví přívod vzduchu do motoru.
3. Motor musí být vybaven systémem umožňujícím automatické vypnutí motoru při poruše.

Nestandardní spalování, způsobené hořlavými plyny v atmosféře, může způsobit protitlak v sání, vysokou teplotu spalin, vysokou teplotu povrchu motoru nebo nekontrolovatelný běh motoru. Proto musí být dieselový motor vybaven zařízením umožňujícím okamžité zavření přívodu nasávaného vzduchu. Nestandardní spalování by nemělo být pro obsluhu při provozu stroje znatelné, pokud nedojde k výraznému poklesu výkonu, překročení limitu emisí nebo poruše stroje. Možné drobné výkyvy v plynulosti běhu motoru jsou kompenzovány využitím hydraulického převodu.

Důlní lokomotivy

Spalovací motory se dnes používají v důlních podmínkách např. k pohonu lokomotiv pro přepravu lidí či materiálu. Jedním z výrobců důlní techniky v našem regionu je firma Ferrit Slovakia s.r.o.. K produktům této firmy patří i důlní lokomotivy. Důlní lokomotivy od této firmy lze rozdělit na dva základní druhy: závěsné lokomotivy a kolejové lokomotivy.

Typickým zástupcem kolejových důlních lokomotiv je nevýbušná pozemní dieselhydraulická lokomotiva P35E, která se používá k přepravě uhlí, zeminy, osob, zařízení a ostatních materiálů. Lokomotiva se skládá ze dvou kabin a motorové části, umístěné mezi oběma kabinami. Lokomotivu pohání motoru Škoda 3S110CO s hydrostatickým převodem Sauer. Přes pružnou spojku se výkon přenáší z motoru na hydrogenerátor. Hydrogenerátor dodává tlakový olej v uzavřeném obvodu do hydromotoru s možností regulace. Z hydromotoru je výkon dále přenášén na nápravy pomocí kardanových hřídelů. Hydraulický systém zamezuje přetížení diesellového motoru. Rychlost lokomotivy je plynně regulovatelná od 0 do 18 km/h. Tažná síla může být až 19 kN, v závislosti na adhezi.

Nejsilnějším zástupcem kolejových důlních lokomotiv firmy Ferrit Slovakia s.r.o. je důlní dieselhydraulická lokomotiva P100E, určená pro horizontální přepravu na kolejích



Obrázek 6 - důlní kolejová lokomotiva P35E [14]

o rozchodu 600-900mm. Lokomotiva je opět tvořena dvěma kabinami a motorovou částí. Pro snadnější přepravu do dolu je lokomotiva rozebíratelná na tři výše uvedené části. Pohon zajišťuje šestiválcový diesellový motor Škoda. Pro provoz v dolech je motor upraven ochranou sacího i výfukového traktu zamezující iniciaci výbuchu metanu. Výfukové plyny jsou chlazeny ve speciální výfukové skříni až na teplotu

nepřevyšující 70 °C. Motor je spouštěn hydraulickým startérem. Veškeré hodnoty motoru, jako je teplota oleje, chladicí kapaliny nebo výfukových plynů, jsou monitorovány řídicím systémem. Pokud některá hodnota překročí stanovenou mez, motor je okamžitě automaticky vypnut. Hydraulická soustava, která je prakticky stejná jako u výše popsaného typu lokomotivy, zajišťuje plynulé změny výstupních parametrů při konstantních optimálních otáčkách diesellova motoru.

Mezi závěsné typy důlních lokomotiv patří Důlní závěsná lokomotiva DLZ110F. Lokomotiva je určena pro přepravu vlakové soupravy po jednokolejné závěsné dráze profilu I 155. Lokomotiva je tvořena dvěma kabinami a motorovým prostorem. Pohon zajišťuje diesellový čtyřdobý čtyřválec Zetor 1404-turbo o max. výkonu 81 kW. Motor je upraven pro důlní podmínky ochranou sacího i výfukového potrubí, která zabraňuje iniciaci výbuchu metanu. Výfukové plyny jsou ochlazeny 70 °C. Řídicí jednotka monitoruje důležité parametry motoru, a pokud by hrozilo riziko výbuchu, je motor okamžitě vypnut. Přenos výkonu je zajištěn hydraulickou soustavou, která je tvořena hydrogenerátorem, dvěma pomaluběžnými hydromotory a odlehčovací stacionární brzdou s funkcí brzdy havarijní. Při překročení dovolené rychlosti lokomotivy se brzdová soustava automaticky spustí a zastaví lokomotivu.



Obrázek 7 - závěsná důlní lokomotiva DLZ110F [14]

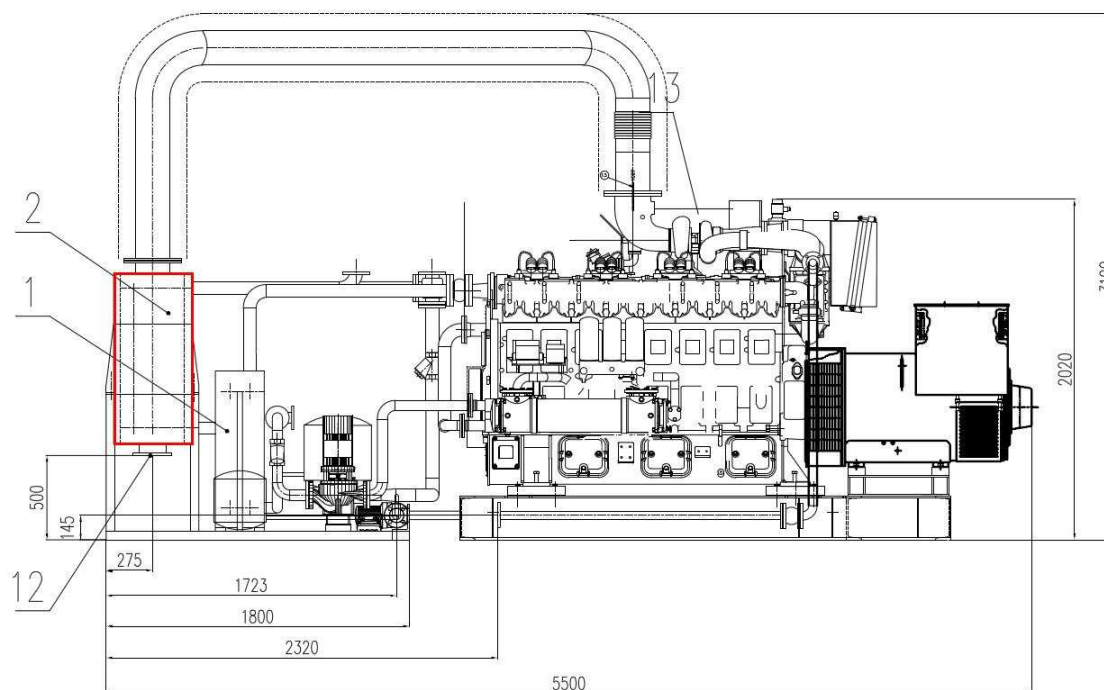
1.3 Kogenerační jednotky

Kogenerační jednotky se dnes staly velmi rozšířeným zdrojem energie. Kogenerace, v obecném smyslu, znamená kombinovanou výrobu elektřiny a tepla najednou. Kogenerační jednotky mohou mít, v závislosti na požadovaných vlastnostech, hnací

agregát parní turbínu, spalovací turbínu nebo pístový spalovací motor. Odpadní teplo vyprodukované hnací jednotkou může být dále využito k vytápění objektů. Obvyklou aplikací kogeneračních jednotek je tady použití v nemocnicích či hotelech. Palivem kogeneračních jednotek bývá zemní plyn a jemu podobné plyny s dostatečným obsahem metanu. Zemní plyn bývá typu „H“ – 96% procent CH_4 . Bioplyn, produkovaný tlením živočišných odpadů, obsahuje 60 – 70% CH_4 , ostatní složky jsou pak převážně CO_2 a v menším množství pak H_2 , H_2S a N_2 . Nejnižší přípustné procento metanu v bioplynu je obvykle 40%. Důlní plyn má 30 – 70% metanu. Ostatní složky jsou pak CO_2 , N_2 nebo O_2 . Podíl metanu v důlním plynu by neměl klesnout pod 25 %. Při nižším podílu metanu v důlním plynu se snižuje rychlost laminárního plamene a může docházet k samozápalům. Teplota plynu na vstupu do motoru by neměla být vyšší než 40°C. Při překročení této teploty dochází k poškození membrán řídících jednotek. Tlak plynu na vstupu do motoru by se měl pohybovat mezi 90 - 200 mbar. Tepelnou energii pro vytápění budov získáváme pomocí výměníků. Základní výměník je pro motorový okruh. Nejběžnější je deskový výměník. Spalinový výměník je trubkového typu. Spaliny proudí uvnitř trubek, které jsou opláštěny vrstvou chladicí kapaliny. Elektrická energie se vyrábí pomocí synchronního nebo asynchronního generátoru. Generátor bývá k motoru připojen napřímo, bez převodovky. Z toho důvodu jsou dány otáčky motoru u většiny výrobců kogeneračních jednotek na 1500 ot/min pro frekvenci v síti 50Hz, respektive 1800 ot/min pro frekvenci v síti 60 Hz. Účinnost plně zatížené kogenerační jednotky dosahuje až 90%. Obvyklý poměr výstupních energií bývá 5:4 ve prospěch tepelné energie. Neméně zajímavou aplikací je využití kogenerační jednotky pro vytápění a zásobování elektřinou skleníků. Obvyklý obsah objemového podílu oxidu uhličitého v atmosféře je 350 ppm. Pro některé rostliny je výhodný objemový podíl oxidu uhličitého až 700 ppm. Spaliny jsou pomocí katalytických reakcí vyčištěny a po jejich průchodu výměníkem jsou vháněny do skleníku, kde obohatí atmosféru o oxid uhličitý. Zbytkové teplo kogenerační jednotky je využíváno k vyhřívání skleníku.

Kogenerační jednotky MOTORGAS

Kogenerační jednotky firmy MOTORGAS jsou poháněny motory MAN nebo WAUKESHA. V nabídce jsou k dispozici jednotky s elektrickým výkonem od 35 do 400 kW s motory od firmy MAN. Kogenerační jednotky s motory WAUKESHA



Obrázek 8 - kogenerační jednotka MGW 350 – výměník spaliny/voda označen červeně [14]

dosahují elektrického výkonu až 1000kW. Na obrázku 8. je typické uspořádání kogenerační jednotky MGW 350 s motorem MAN. Na pozici 2 (červený obdélník) v obrázku je umístění výměníku, ve kterém jsou ochlazeny spaliny a jejich teplo odvedeno do otopného systému. Výměník je umístěn dosti daleko od hlavy motoru, až za turbínou. S konstrukčního hlediska je toto uspořádání výhodné, neboť lze využít sériově vyráběného výměníku potřebné velikosti. Tepelným ztrátám ve spalinách je zabráněno izolací trubky vedoucí spaliny od turbíny k výměníku.

Stacionární motory Perkins

Jedním z předních výrobců motorů pro kogenerační jednotky a generátory elektrické energie je firma Perkins. Tato firma ovšem nabízí motory i pro celou škálu jiných aplikací, jako jsou lodní motory, motory pro průmyslové využití atp.. Typickým zástupcem motorů Perkins, využitelným pro výrobu elektřiny, je dieselový motor typu 1006TAG v zástavbě s generátorem elektrické energie. Set je výrobcem označován jako



Obrázek 9 - Perkins 1006 TAG – ElectropaK [15]

Diesel Engine - ElectropaK. Jedná se o šestiválcový řadový čtyřtákní turbodiesel o objemu 5.99 litru. Maximální výkon tohoto soustrojí je 136 kVA při frekvenci v síti 50 Hz. Za povšimnutí stojí provedení výfukových svodů, umístění turbíny a odvod spalin. Výfukové svody jsou provedené v jedné (horizontální) rovině. Sací potrubí je vedeno nad výfukovými svody a nikterak nezasahuje do prostoru výfukových svodů. Jelikož se nejedná o kogenerační jednotku, nejsou spaliny již dále chlazeny.

Poznatky získané v rešeršní části

Největší inspirací pro konstrukci chlazeného výfukového potrubí dle zadání jsou chlazená výfuková potrubí lodních motorů. Jejich primárním účelem je snížení tepelného namáhání výfukového potrubí, snížení vyzařování tepla a snížení teploty spalin. Toho se dosahuje obalením těchto svodů chladicí kapalinou. Nejčastěji bývají konstruovány jako odlitky. Technologické otvory jsou utěsněny buď nalisováním zátky, nebo použitím víčka přitaženého šrouby. Vstup chladicí kapaliny je ve spodní části, výstup je v horní části. Chlazení jednotlivých svodů bývá opomíjeno. Motory upravené pro důlní použití mají již všechny části včetně výfukového potrubí zkonstruovány pro provoz v dolech, přičemž celý motorový prostor je izolován od okolí. Primární účel chlazení výfukového potrubí v této aplikaci je snížení teploty spalin. Chlazení výfukového potrubí u kogeneračních jednotek má za účel maximálně využít teploty spalin. Z tohoto důvodu není nutné umístit chlazení výfukového potrubí hned za hlavu

motoru. Stačí výfukové potrubí izolovat od hlavy válců až ke vstupu do výměníku. Výměníky bývají umístěny až za turbínou na vhodném místě a bývají standardizovaných typů.

2 Současné řešení výfukového potrubí a zástavbový prostor

2.1 Motory firmy Tedom a jejich použití

Výroba firmy Tedom navazuje na bohatou tradici výroby motorů firem RAF a ŠKODA. Liberecká firma RAF vyrobila první vozidla již roku 1906. Před první světovou válkou se firma RAF sloučila s firmou Laurin a Klement, dnešní Škoda Mladá Boleslav. Po první světové válce byla založena výroba nákladních vozidel a traktoru v pobočce ŠKODA v Plzni. Začátkem padesátých let se výroba nákladních automobilů přesunula do Libereckého kraje pod značkou LIAZ (Liberecké automobilové závody). Motory pro tyto nákladní vozidla byly vyráběny v Jablonci nad Nisou. Tedom a.s., Divize motory, je tedy nástupnickou firmou firmy LIAZ.

Firma Tedom vyrábí vozidlové a stacionární motory. Motor je vlastně nástupcem lety ověřené koncepce firmy LIAZ. Motory pro vozidlové použití a stacionární motory jsou v základu stejné konstrukce. Jedná se o čtyřtákní řadový šestiválec. Zdvihový objem motoru je 11,946 litru, při zdvihu pístu 150 mm a vrtání pístu 130 mm. Hlava válců je společná vždy pro dva válce. Motor může být orientován jako vertikální nebo jako horizontální.

Vozidlové motory

Vozidlové motory řady CITY lze použít jako plnohodnotnou náhradu za motory LIAZ při opravách či přestavbách starších vozidel. Vhodnou aplikací plynových vozidlových



Obrázek 10 - komunální vozidlo s motorem firmy Tedom [16]



Obrázek 11 - autobus Tedom [16]

motorů, díky jejich nízkým emisím, jsou užitková komunální vozidla. Do 10. ledna 2012 byli motory spalující CNG montovány do autobusů firmy Tedom. Tyto motory určené pro vozidla dosahují výkonu až 260 kW. Kompresní poměr je 11,1:1. Pořadí zapalování motoru je 1 – 5 – 3 - 6 – 2 – 4. Písty jsou zhotoveny z hliníkové slitiny. Mají tři pístní kroužky. Dodatečné chlazení pístu zajišťuje kanál v pístu „shaker“. Motor je vybaven turbo-dmychadlem a mezichladičem plnicího vzduchu. Splnění emisních norem EURO 5 a standart EEV, je dosaženo třicestným katalyzátorem ECOCAT (KTT 6775-1). Motor pracuje se stechiometrickou směsí, která je zajištěna kontrolním systémem bohatosti směsi. Palivový systém tvoří regulátor tlaku plynu, dávkovací palivový ventil, směšovač, škrtící výkonová klapka. Sací systém je tvořen čističem vzduchu, dmychadlem, omezovací klapkou, mezichladičem vstupního vzduchu typu vzduch/vzduch a směšovačem. Výfukový systém je tvořen trojdílným výfukem s integrální izolací, turbínou, katalyzátorem a tlumičem. Chlazení motoru je zajištěno kapalinovým chladicím okruhem. Cirkulaci chladicího okruhu zajišťuje odstředivé oběhové čerpadlo, umístěné na motoru a poháněné řemenem od klikového hřídele. Chladič chladicí kapaliny je typu voda / vzduch. Mazání je tlakové. Cirkulaci oleje zajišťuje zubové čerpadlo poháněné ozubeným kolem. Správná teplota oleje je zajištěna pomocí lamelového chladiče s regulačním a pojistným ventilem. Množství oleje u horizontálního motoru je 24 litru, u vertikálního pak 32 litrů.

Motory Tedom, zvláště pak jejich horizontální verze, jsou též vhodným pohonem pro drážní aplikace. Jsou používány v osobní regionální dopravě v motorových vozech 810, 842, 843, a RegioNova. Své uplatnění též nacházejí v nákladní dopravě a to zejména ve vlečkových a posunovacích lokomotivách. Drážní motory řady TRAIN jsou zejména diesellové. Splňují limit UIC III. B. K dispozici jsou tři výkonové varianty. Od nejslabší



Obrázek 12 - motorový vůz 842 s motorem Tedom [16]



Obrázek 13 - RegioNova s motorem Tedom [16]

verze o výkonu 242 kW až po nejsilnější verzi s výkonem 310 kW. Kompresní poměr všech tří variant je 15,9. Motor je přeplňován turbodmychadlem s chlazenou ložiskovou skříní, chlazení plnicího vzduchu je zajištěno mezichladičem. Dodávku paliva zajišťuje vstříkovací čerpadlo, které je schopno dosáhnout tlaku až 1700 bar. Písty jsou z hliníkové slitiny, se třemi kroužky. Chlazení pístů je zajištěno postřikem. Chlazení motoru je kapalinové. Cirkulaci kapaliny zajišťuje odstředivé čerpadlo poháněné řemenem od klikového hřídele. Tlakové mazání olejem zajišťuje zubové čerpadlo poháněné ozubeným kolem. Motor se startuje startérem o výkonu 6,6 kW. Sběrné výfukové potrubí je trojdílné nechlazené. Komunikace řídicích jednotek je zajištěna pomocí CAN – BUS J -1939.

Klíč ke značení vozidlových motorů Tedom je v příloze č. 1 Značení motoru pak může vypadat takto: TG 210 A6H TA 04. Jednalo by se tedy o motor na zemní plyn se jmenovitým výkonem 210 kW určeným pro automobily. Maximální krouticí moment by byl 1600 Nm. Provedení ležaté. Motor by byl přeplňovaný s mezichladičem plnicího vzduchu typu vzduch/vzduch. Motor splňuje emisní normy EURO 4.

Satcionární motory Tedom

Stacionární motory Tedom nacházejí využití v pohonu točivých strojů, jako jsou elektrické generátory, kompresory, čerpadla atp.. Velké využití nachází tyto motory v pohonu výše zmíněných strojů všude tam, kde není možnost připojení elektrické energie, nebo tam, kde není využití těchto strojů tak časté a nevyplatilo by se platit smlouvenou kapacitu elektrické přípojky.



Obrázek 14 - generátorové soustrojí s motorem firmy Tedom [16]



Obrázek 15 - motor firmy Tedom určený k pohonu čerpadel [16]

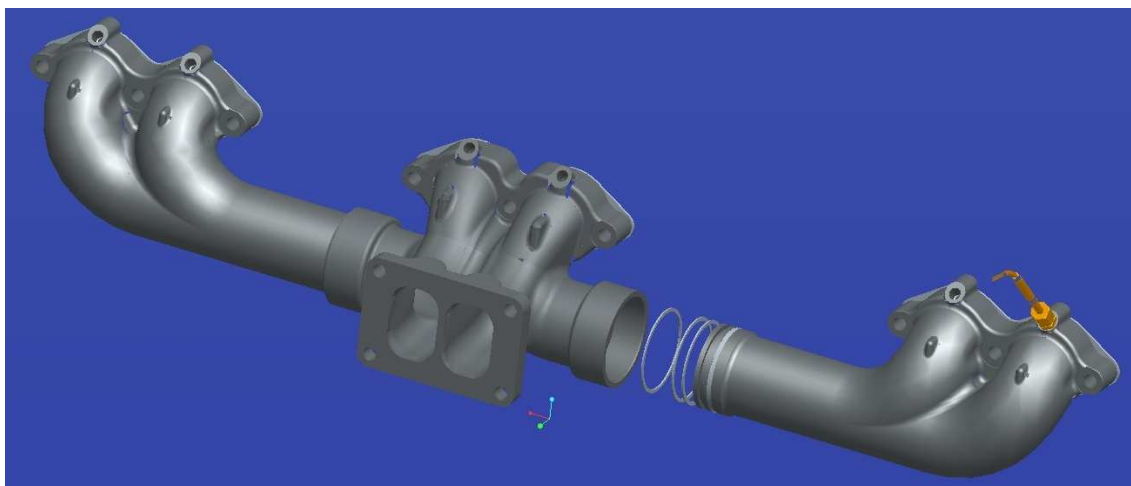
S výhodou lze tyto motory použít jako záložních zdrojů elektrické energie (obr. 14) všude tam, kde je třeba její nepřetržité dodávky. Tato soustrojí je možno vybavit automatickou regulací provozu, automatickým fázováním k rozvodové síti a automatickým vypnutím i zapnutím.

Velmi obvyklé je využití těchto motorů v kogeneračních jednotkách. Tyto motory mohou spalovat širokou nabídku paliv, mezi něž patří: nafta, zemní plyn, bio-plyn, LPG, dřevo plyn a jiné plyny s nízkým obsahem metanu. Při využití stacionárních motorů pro výrobu elektrické energie se používají otáčky motoru 1500ot/min pro síťové napětí 50Hz, popřípadě 1800 ot/min síťové napětí 60Hz.

Klíč ke značení stacionárních motorů Tedom je v příloze č. 2. Příklad označení: TG 185 G5V TW 86. Jedná se tedy o motor na zemní plyn o výkonu 185 kW. Oblast použití pro generátorové soustrojí. Jmenovité otáčky – 1500 ot/min. Provedení stojaté. Přepřínovaný s mezichladičem plnicího vzduchu typu voda / vzduch. Motor plní emisní normu TA LUFT 86

2.2 *Současné řešení sběrného výfukového potrubí*

Sběrné výfukové potrubí, které má být nahrazeno chlazeným, je zhotoveno ve formě třídílného odlitku z litiny s kuličkovým grafitem – ČSN 422304 legovaný 3,8% Si, 0,6-0,8% Mo. Potrubí musí být odolné a nepropustné pro spaliny o teplotě 800 °C a tlaku 500 kPa. Potrubí se skládá ze tří dílů. Každý díl je přišroubován k hlavě, která je vždy společná pro dva sousední válce, pomocí tří závrtných šroubů. Spojení všech tří dílů,

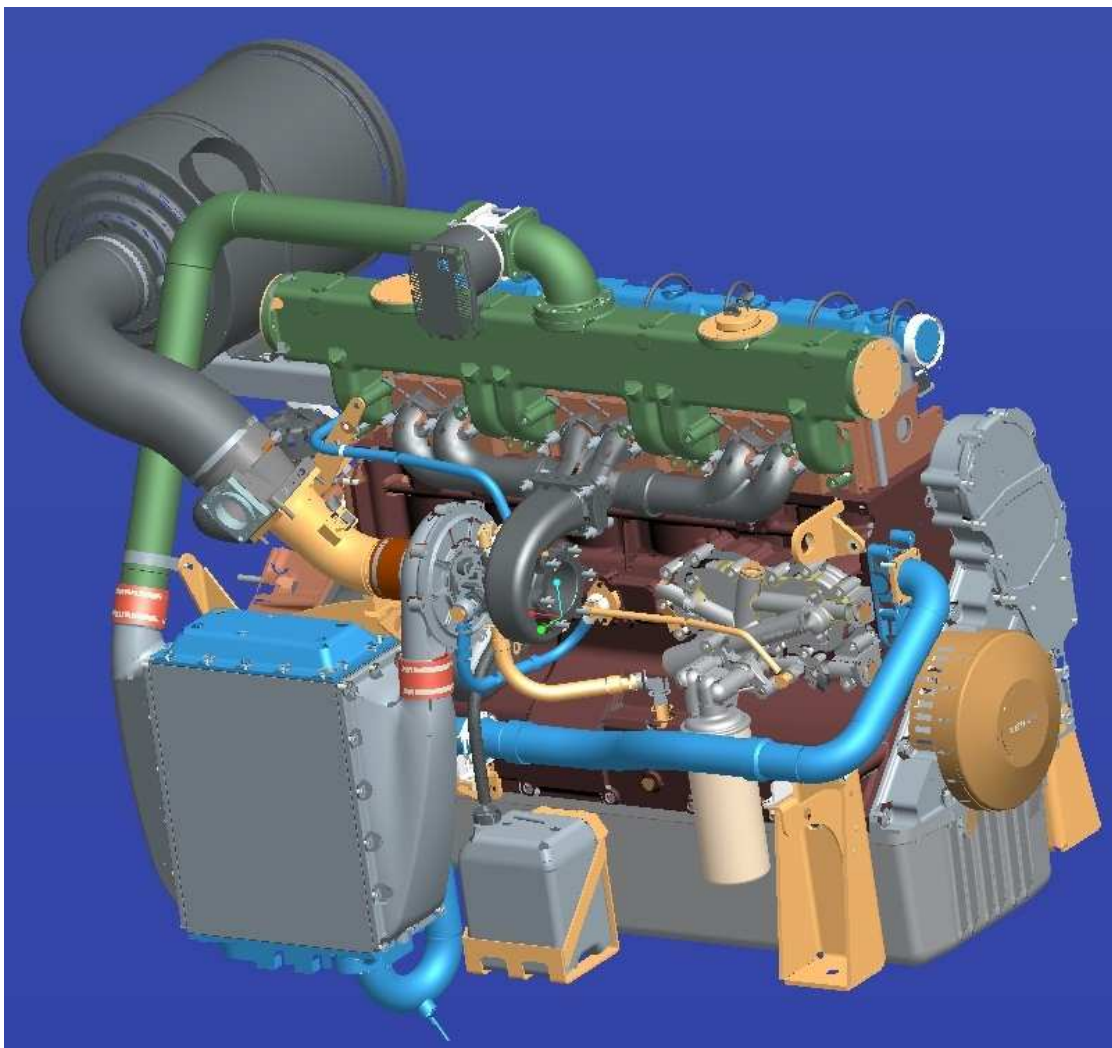


Obrázek 16 – nechlazené výfukové potrubí

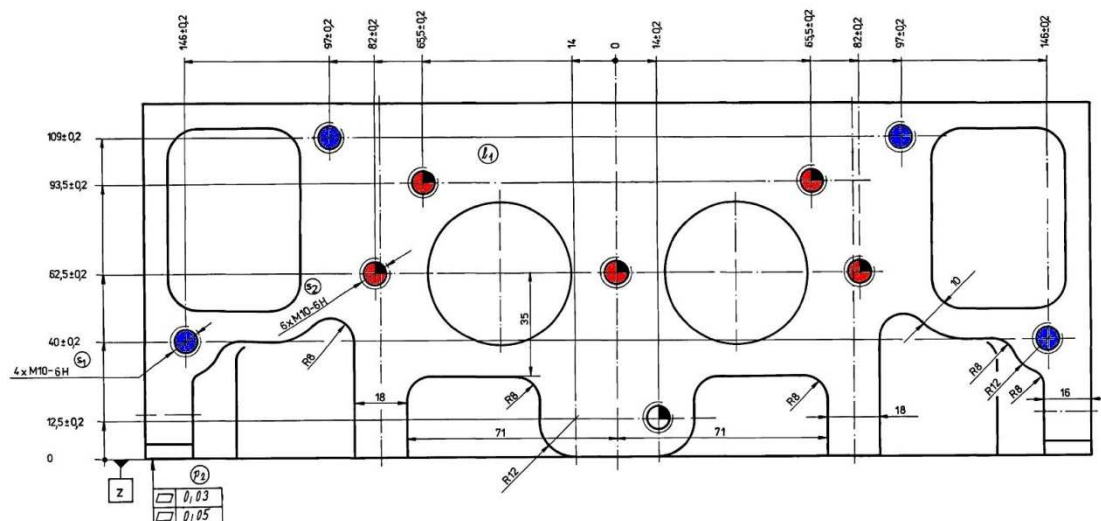
kteřé je nepropustné pro spaliny, je zajištěno posuvným spojením. Utěsnění spoje je zajištěno pomocí těsnících kroužků firmy Buzuluk o rozměrech 68 x 1 mm. Na krajní části výfukového potrubí jsou dvě drážky. V každé drážce jsou pak umístěny tři těsnící kroužky tak, aby se jejich zámky nepřekrývaly. Tento způsob uspořádání zajišťuje možnost dilatace, která vznikne při ohřátí sběrného výfukového potrubí na provozní teplotu, nebo při změnách režimu běhu motoru. Vnitřní průměr sběrného výfukového potrubí u příruby k hlavě motoru je kruhového průřezu o průměru 49 mm, stejně jako je průměr 49 mm výfukového kanálu u příruby hlavy motoru. Stejný kruhový průřez je pak po celé délce krajních částí sběrného výfukového potrubí. V prostřední části se pak průřez mění pozvolna v oválný. Vstupní příruba do turbíny je pak již oválného tvaru stejně, jako je tomu u příruby turbíny. Střední část sběrného výfukového potrubí je pak přišroubována k turbíně pomocí čtyř šroubů M10. V každém sběrném svodu výfukového potrubí je umístěn termočlánek. Tyto termočlánky monitorují teplotu spalin u každého válce.

Zástavbový prostor pro sběrné výfukové potrubí

Zástavbový prostor je znázorněn na obrázku č. 17. Sběrné výfukové potrubí (tmavě šedá) je umístěno mezi hlavami motoru a turbodmychadlem. Kolmá vzdálenost roviny příruby hlavy a roviny příruby turbíny je 131 mm. Celková délka současného sběrného výfukového potrubí je 826 mm. Na stejné straně hlavy, jako jsou umístěny výfukové kanály, jsou též umístěny sací kanály. Sací potrubí (zelená barva) je pak umístěno mezi jednotlivými dvojsvody sběrného výfukového potrubí. Z obrázku je patrné, že dvě prostřední části sacího potrubí jsou společné vždy pro dvě hlavy motoru. Toto je možné díky tomu, že jsou hlavy k sobě přišroubovány a je tak omezena jejich teplotní dilatace. Sací potrubí je k hlavám přišroubováno pomocí dvanácti šroubů M10. Tímto uspořádáním vzniká velmi omezený prostor mezi sacím a sběrným výfukovým potrubím. Skrz prostor kolem sběrného výfukového potrubí navíc prochází řada trubek. Jde o vstupní a výstupní trubky chlazení ložiskové skříně turbodmychadla a o trubky zásobující olejem ložiskovou skříně turbodmychadla. Dole pod sběrným výfukovým potrubím jsou pak na bloku motoru umístěna dvě čidla klepání. Možnost dodatečného uchytení sběrného výfukového potrubí nabízí další dvě díry se závitem M10 v každé hlavě válce.

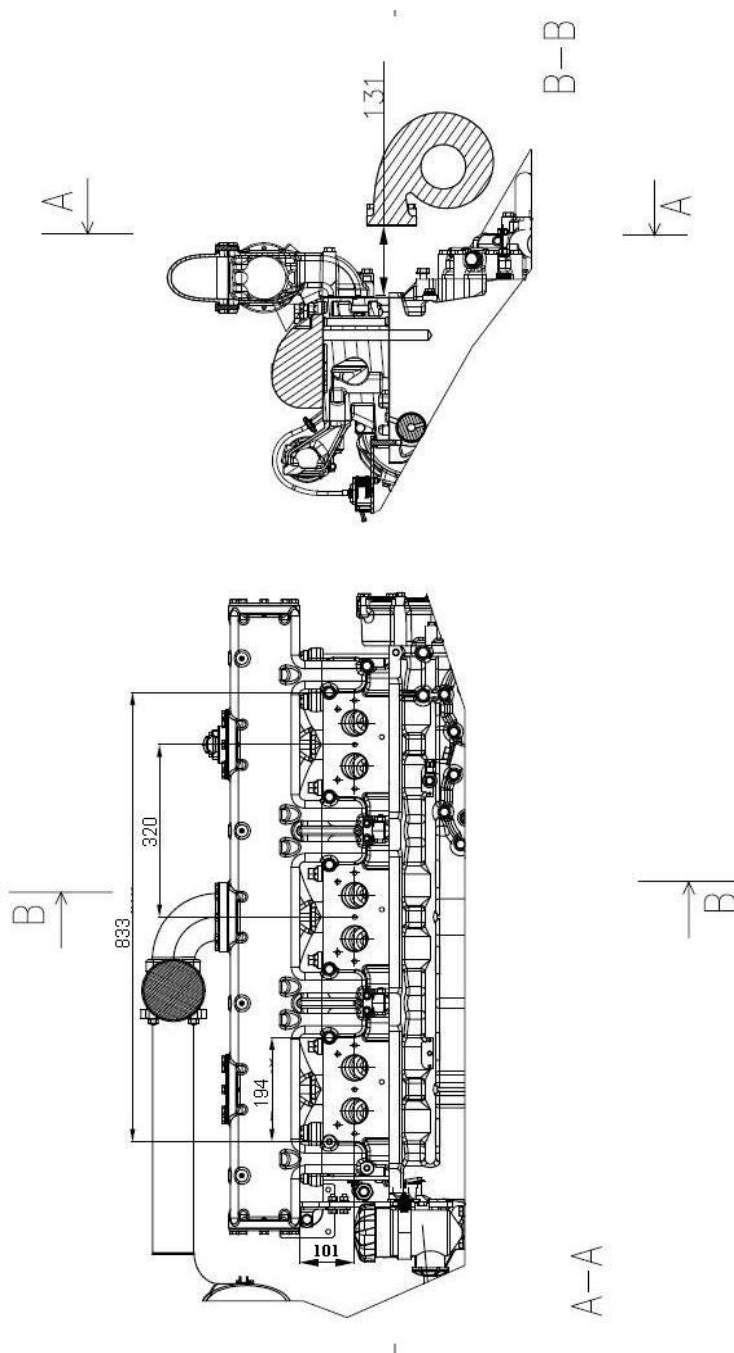


Obrázek 17 – Vertikální motor Tedom – pohled na výfukové potrubí



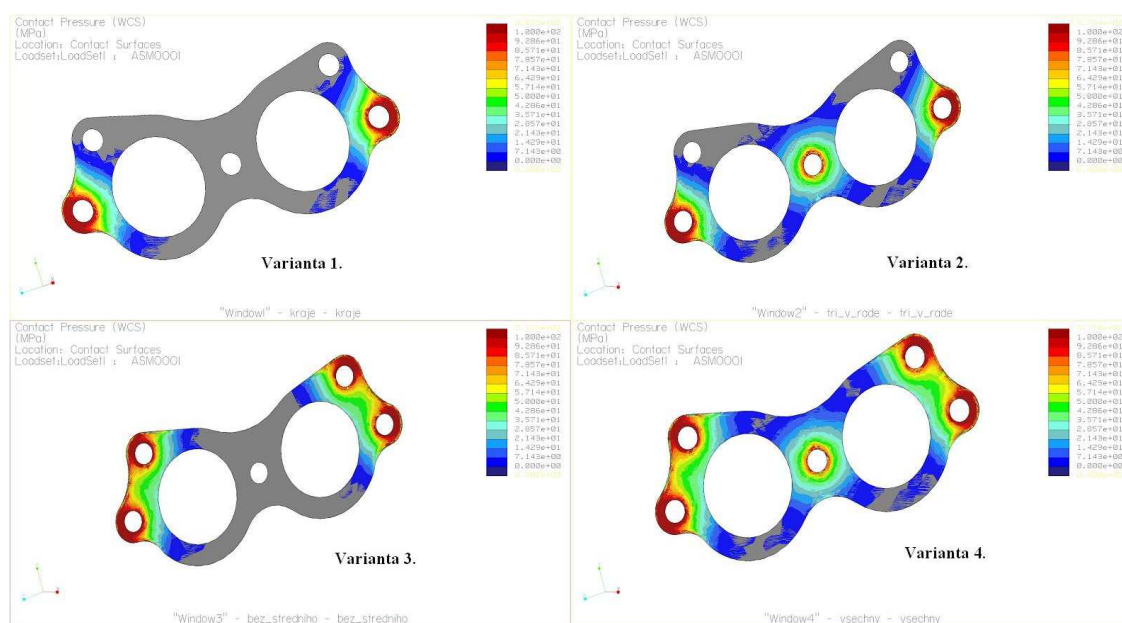
Obrázek 18 – hlava válců [17]

Celkový pohled na jednu hlavu válců je pak vidět na obrázku 18. Jedná se o výšeč výrobního výkresu hlavy válců, zobrazující pohled na hlavu válců směrem od turbodmychadla. Ve středu jsou vidět dva výfukové kanály. Díry se závity M10 označené červeně označují místo použitelná pro přišroubování sběrného výfukového potrubí. Po krajích jsou pak umístěny sací kanály. Díry se závity M10 označené modře pak označují místa přišroubování sacího potrubí.



Obrázek 19 – hlavní rozměry zástavbového prostoru

Se zástavbovým prostorem též souvisí využití možných uchycovacích děr se závitem M10 v hlavě válců. V programu Pro/Mechanica byla vytvořena simulace přitlaku příruby výfuku k hlavě válců. Šedá barva znamená nedostatečný přitlak. Červená naopak velký přitlak. Ze simulace vyplývá, že je nutno vždy využít středových šroubů. V opačném případě by mohlo dojít k netěsnosti. Vhodné varianty jsou tedy pouze číslo 2 a 4.

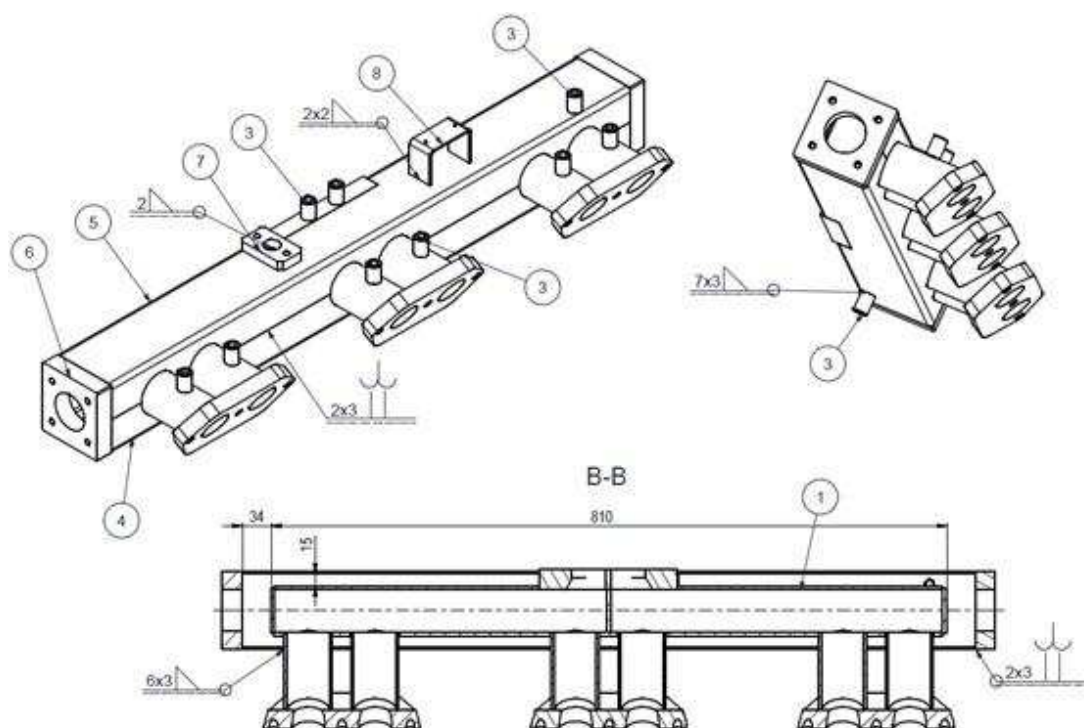


Obrázek 20 – simulace přitlaku příruby výfuku k hlavě válců [17]

2.3 Chlazené sběrné výfukové potrubí firmy Tedom – svařenec

Firma Tedom již uskutečnila vývoj v oblasti konstrukce chlazeného výfukového potrubí. Touto konstrukcí je částečně chlazené sběrné výfukové potrubí zhotovené svařováním. Jedná se vlastně o dvě trubky obdélníkového průřezu vložené jedna do druhé. Na vnitřní trubku jsou navařené jednotlivé sběrné svody kruhového průřezu. Vnitřní trubka, kterou procházejí spaliny je, jakožto i malá část sběrných svodů, obalena pláštěm chladicí proudící kapaliny ve vnější trubce. Na každém jednotlivém svodu je umístěn termočlánek. Příruba výfuku je k hlavě motoru přišroubována třemi šrouby M10, stejně jako u nechlazené verze výfukového potrubí. Příruba k turbíně je pak stejná jako u nechlazeného výfukového potrubí. Rozdíl je jen v tom, že k přišroubování

turbíny k výfuku je použito čtyř závrtných šroubů M10, oproti čtyřem klasickým šroubům a maticím u nechlazené verze výfuku. Svařenec se po zhotovení zkouší na těsnost tlakem 0,4 MPa po dobu 15 min. Svařenec je navržen pro maximální pracovní tlak 0,2 MPa. Chladicí kapalina proudí tělesem výfuku podélně z jedné strany na druhou. Tím vzniká vlastně výměník, který je v první polovině souprroudý, v druhé polovině pak protiproudý. Chladicí kapalina při průchodu tělesem výrazně mění svou teplotu. Následkem tohoto uspořádání je i fakt, že spaliny z obou částí výfuku mají rozdílnou teplotu. Toto nepříznivě ovlivňuje účinnost turbíny. Další nevýhodou je pouze částečné ochlazení jednotlivých výfukových svodů. Jejich větší část je zcela nechlazena. Toto má za následek výrazné tepelné namáhání přírub výfuku a hlavy motoru. Jako nevhodná se též jeví celková neuhlazenost svodů. Spaliny naráží do neslícovaných hran kanálů a musí obtékat řadu rohů a hran, což vytváří další ztráty a zbytečný protitlak ve výfuku. Přínosem je ochlazení příruby výfuku u turbíny. Tyto vlastnosti spolu s nákladnou výrobou svařence vedli k tomu, že tato koncepce byla shledána jako nevyhovující.



Obrázek 21 - Chlazený výfuk firmy Tedom – svařenec [17]

Konstrukce chlazeného výfukového potrubí

2.4 Požadavky na chlazené výfukové potrubí

Ochlazení co možná největší plochy povrchu výfukového potrubí

Nutnost ochlazení co možná největší plochy výfukového potrubí byla detailněji popsána v kapitole o důlním využití spalovacích motorů. Cílem je eliminovat pokud možno všechna horká místa na výfukovém potrubí. Dalším důvodem k ochlazení co možná největší plochy sběrného výfukového potrubí souvisí se zástavbovým prostorem stacionárních motorů. Ze strojovny je nutné odvádět teplo. Pokud teplo ze sběrného výfukového potrubí odvedeme chladicí kapalinou, lze jej např. u kogeneračních jednotek využít. Pokud je teplota povrchu vyzařující teplo nižší, sníží se i teplo, které je nutné odvádět ze strojovny ventilací. V tomto případě je teplo vyzářené povrchem nechlazeného výfuku značné. Povrch výfuku dosahuje až 600 – 700 °C. Pokud by bylo možno ochladit celý povrch výfuku, daly by se očekávat výrazně nižší teploty povrchu výfuku.

Zachování stávajícího zástavbového prostoru

Zachování stávajícího zástavbového prostoru je požadavek ekonomický. Při změně zástavbového prostoru by bylo nutno přepracovat většinu hlavních dopravních potrubí. Při změně polohy turbodmychadla by bylo nutno přepracovat i sací potrubí a mezichladič plnicího vzduchu. Stejně tak je nutné zachovat sací potrubí na hlavách válců beze změny. Ačkoli je tento požadavek jednou z největších překážek návrhu optimálního řešení, beru ho jako závazný, i když některé mnou navržené návrhy variant řešení počítají se změnou zástavbového prostoru. Jedinou možnou změnou je změna trasy vedení chladicího a olejového potrubí do ložiskové skříně turbodmychadla.

Zachování termočlánků na jednotlivých svodech

Zachováním termočlánků na jednotlivých svodech sběrného výfukového potrubí by bylo vhodné zejména pro možnost lepšího monitorování běhu motoru. Tento požadavek není nutno splnit úplně a lze zde učinit značné kompromisy. Stejně tak není přesně určena poloha termočlánku. Je dáno pouze to, že by měl být co nejblíže hlavě válců a jeho snímací část musí zasahovat dostatečně do proudících spalin.

Symetrické ochlazení výfukových spalín

Důsledky nesymetrického ochlazení spalín byly detailněji popsány v kapitole 2.3. Dodržení tohoto požadavku beru tedy jako jednu z priorit konstrukce.

Vstup chladicí kapaliny do chlazeného výfukového potrubí otvorem o průměru aspoň 50 mm

Chlazené výfukové potrubí má být zapojeno v hlavním chladicím okruhu motoru. Průměry trubek tohoto okruhu jsou též 50 mm. Chlazené výfukové potrubí má být zapojeno do chladicího okruhu před motorem. Teplota vstupní chladicí kapaliny by měla být cca 86 °C. Tento požadavek se jeví jako nutnost, pro dostatečné ochlazení výfukového potrubí. I když i zde se nabízí možnost kompromisu, část chladicí kapaliny nechat proudit přemostěním.

Zbůsob výroby - odlévání

Těleso výfuku jako odlitek má v sériové výrobě výhody ekonomické. Šedá litina má též příznivější vlastnosti ohledně rozměrové stálosti při změně teplot. Tento požadavek je nutné dodržet.

Žádná těsnicí plocha by neměla být typu spaliny / voda

I když dnes již existují těsnicí materiály schopné plnit funkci těsnění v podmínkách, kdy z jedné strany proudí spaliny a z druhé chladicí kapalina, je nutné se tomuto případu vyvarovat. Důvodem je neodhalitelnost netěsnosti takovéto plochy až do chvíle fatální poruchy.

Samovolné odvzdušnění

Sběrné chlazené výfukové potrubí by nemělo obsahovat žádné kapsy či výdutě, které by se nemohly samovolně odvzdušnit.

Ochlazení spalín před vstupem do turbíny

Chlazení spalín před vstupem do turbíny není obvykle přínosem, jelikož se sníží energie výfukových plynů vstupujících do turbíny. Existuje však zvláštní případ, kdy je ochlazení spalín naopak žádoucí. V příložené tabulce (tab. 3) jsou vybrané hodnoty

z měření stacionárního motoru Tedom TG 110 G5V TX 87 (viz značení stacionárních motorů – příloha č. 2).

Tabulka 1 – hodnoty měření

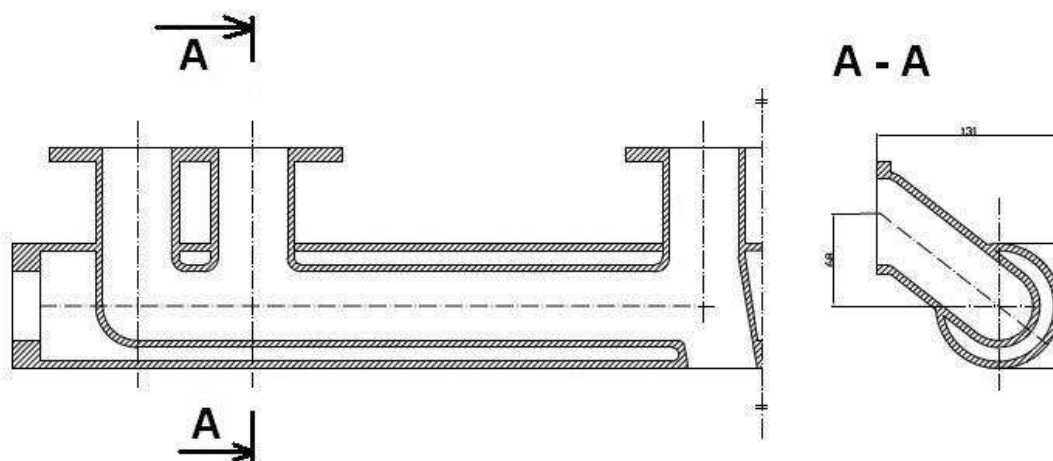
číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
úhel zážehu před HÚ (°)	40	36	30	26	24	22	20	18	16
Teplota na vstupu do turbíny (°C)	534	543	564	577	590	600	610	623	640
Výkon (kW)	99	100	103	106	107	108	109	111	112

Z tabulky je patrné, že se snižujícím se úhlem zážehu se zvyšuje výkon, ovšem roste teplota spalin na vstupu do turbíny. Bohužel se též snižuje účinnost. Existují ovšem aplikace, ve kterých je přednější dosažený výkon před účinností. V takovýchto případech je ovšem další zvyšování výkonu omezeno teplotou spalin vstupujících do turbíny. Z tohoto důvodu by ochlazení spalin před vstupem do turbíny mělo své opodstatnění. Míru snížení teploty výfukových spalin v chlazeném výfuku je předmětem experimentálního měření. Spaliny z krajních čtyř válců prochází relativně dlouhou cestu chlazeným výfukovým potrubím a dá se předpokládat, že jejich teplota poklesne výrazněji než u spalin z prostředních dvou válců. Chlazené výfukové potrubí pro prostřední dva válce je výrazně kratší. Jaký vliv bude mít tato předpokládaná pulzace teploty spalin na turbínu je předmětem experimentálního měření.

2.5 Návrhy možných variant řešení

Varianta č. 1

Jako nejjednodušší varianta se jeví přepracování svařence popsaného v kapitole 2.3 na odlitek. Pokud by se takováto součást zhotovovala odléváním, byla by při sériové výrobě snížena její cena. Na obrázku č. 22 je skica návrhu tohoto řešení. Chladicí kapalina by proudila podélně z jednoho konce na druhý. Bohužel u tohoto řešení zůstávají zachovány takřka všechny nevýhody, které byly popsány v kapitole 2.3 o svařovaném sběrném chlazeném výfukové potrubí. Jedinou výhodou by byla možnost zaoblit nerovnosti a ostré hrany ve výfukovém potrubí a nasměrovat vedení spalin optimálnější cestou a snížit tak ztráty. Z výše popsaných důvodů jsem tuto variantu řešení odmítl a dále nerozpracovával.



Obrázek 22 – varianta č. 1

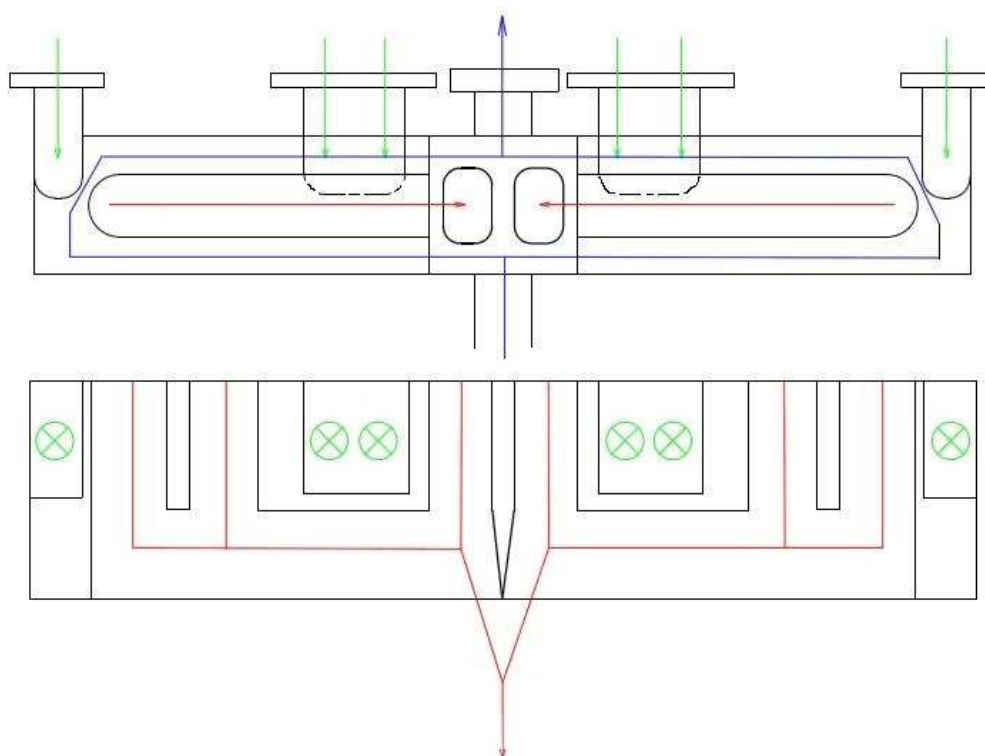
Varianta č. 2

Tato varianta nabízí komplexní řešení chlazení sběrného výfukového potrubí a chlazení sacího potrubí. Toto řešení bylo inspirováno patentem firmy Perkins, popsáním v rešeršní části. Toto řešení má však požadavek na výraznou změnu zástavbového prostoru. Sací potrubí by bylo částečně nahrazeno. Z hlediska technologie výroby, snadnější odvzdušnitelnosti a jednodušší cirkulace chladicí kapaliny by bylo nutno přemístit turbodmychadlo o 68 mm výše, tedy do roviny výfukových kanálů hlavy motoru. Tímto uspořádáním by vznikla situace, kdy by bylo možno ochladit výfukové svody až k hlavě motoru po celé jejich ploše. Jelikož by bylo sací i výfukové sběrné potrubí jeden odlitek, eliminoval by se tak nedostatek místa mezi sacím a výfukovým kanálem na hlavě motoru. U kogeneračních jednotek bývají použity dva chladicí okruhy s různými teplotami chladicího media. Tohoto uspořádání bylo možno využít i v tomto případě. Pokud by bylo sběrné výfukové potrubí chlazeno kapalinou hlavního chladicího okruhu motoru, teplota tohoto media by pravděpodobně výrazně vzrostla. Oproti tomu sací potrubí by mohlo být obaleno chladicím médiem sekundárního chladicího okruhu o teplotě 30 - 40 °C. Pokud by byl součástí tohoto tělesa i výměník typu voda / voda. Bylo by možno dochladit kapalinu hlavního chladicího okruhu, jejíž teplota vzrostla při ochlazování výfukového potrubí. Množství kapaliny procházející výměníky by bylo možno regulovat pomocí samočinného ventilu dle teploty chladicí kapaliny hlavního chladicího okruhu, stejně jako je tomu u patentu firmy Perkins. Tato varianta je však příliš složitá, drahá a má velké požadavky na změnu zástavbového

prostoru. Proto ani tuto variantu nebudu dále rozpracovávat. Při použití mezichladiče plnicího vzduchu by tato varianta mohla být kontraproduktivní. V mezichladiči ochlazený plnicí vzduch by se mohl opět ohřát v sacím kanálu umístěném v jednom odlitku s výfukovým potrubím.

Varianta č.3

Tato varianta je vlastně zjednodušení varianty 2. Změna zástavbového prostoru by byla prakticky stejná s předchozí variantou. Nebylo by ovšem užito sekundárního chladicího okruhu. Chlazené výfukové potrubí by bylo opět zkombinováno s částí sacího potrubí. Tím by byla opět odstraněna překážka v podobě zástavbového prostoru. Výhodou tohoto řešení oproti předchozímu je jeho jednoduchost. Nebylo by třeba sekundárního chladicího okruhu. Výrazně by se zjednodušila technologie výroby a výrazně nižší by byla i hmotnost celého tělesa. Funkční schéma je na obrázku č. 2. Červené šipky naznačují směr prodělení spalín. Zelené pak proudění plnicího vzduchu. Modré šipky naznačují proudění chladicí kapaliny. I když je tato varianta oproti předchozí výrazně jednodušší, stále má velké nároky na zástavbový prostor. Z tohoto důvodu není toto řešení dále zpracováno. Pokud by bylo použito mezichladiče, je zde riziko ohřátí již ochlazeného plnicího vzduchu.



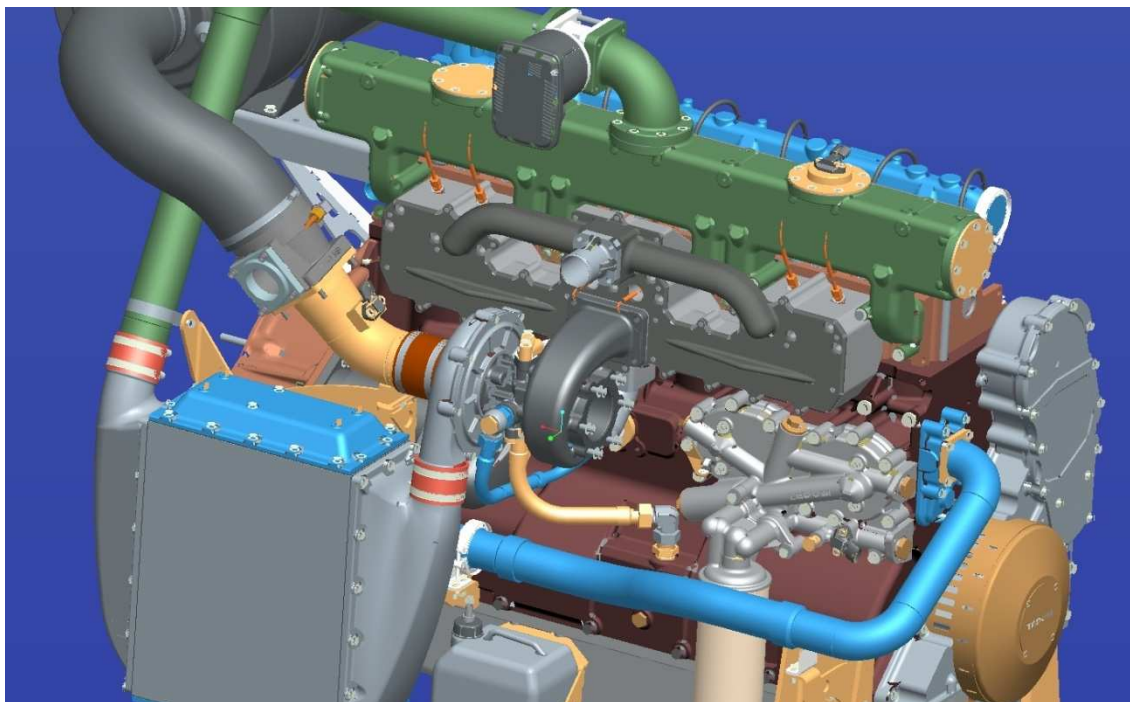
Obrázek 23– varianta č. 3

Vysvětlivka: zelená – plnicí vzduch, modrá – chladicí kapalina, červená - spaliny

Varianta č. 4

Tato varianta je koncipovaná tak, aby nebylo nutné měnit zástavbový prostor. Jedná se vlastně o vanu, ve které je umístěno výfukové potrubí. Vana je pak utěsněna víkem. Umístění na motoru je znázorněno na obrázku č. 24. Celý komponent je uchycen k hlavám motoru pomocí třinácti závrtných šroubů M 10. Z obrázku je patrné, že nebylo nutné zásadně měnit zástavbový prostor. Přepracovat je nutné pouze trasu trubek s chladicí kapalinou a olejem vedoucí do ložiskové skříně turbodmychadla. Chladicí kapalina vstupuje do sběrného chlazeného výfukového potrubí zespodu, přírubou umístěnou na spodní straně vany. Dále se cesta větví do tří směrů. Jeden směr jde prostředkem, kde chladí přírubu k turbíně a dva prostřední sběrné svody. Dále jde pak do víka a horní přírubou na víku ven. Dvěma krajními cestami jde pak zbytek chladicí kapaliny, kde chladí krajní svody, vstupuje do víka, kterým putuje až do horní střední části víka a pak přírubou ven. Tímto systémem chlazení je zajištěno symetrické ochlazení spalin.

Na obrázku č. 25 je celé sběrné výfukové potrubí v detailu. Víko je k vaně přišroubováno pomocí dvaceti osmi šroubů M8. Turbína je k výfuku chycena pomocí čtyř závrtných šroubů M10. Na každém válci byl zachován termočlánek. Vstup chladicí kapaliny do chlazeného výfuku je otvorem o průměru 50 mm. Z výše popsaného

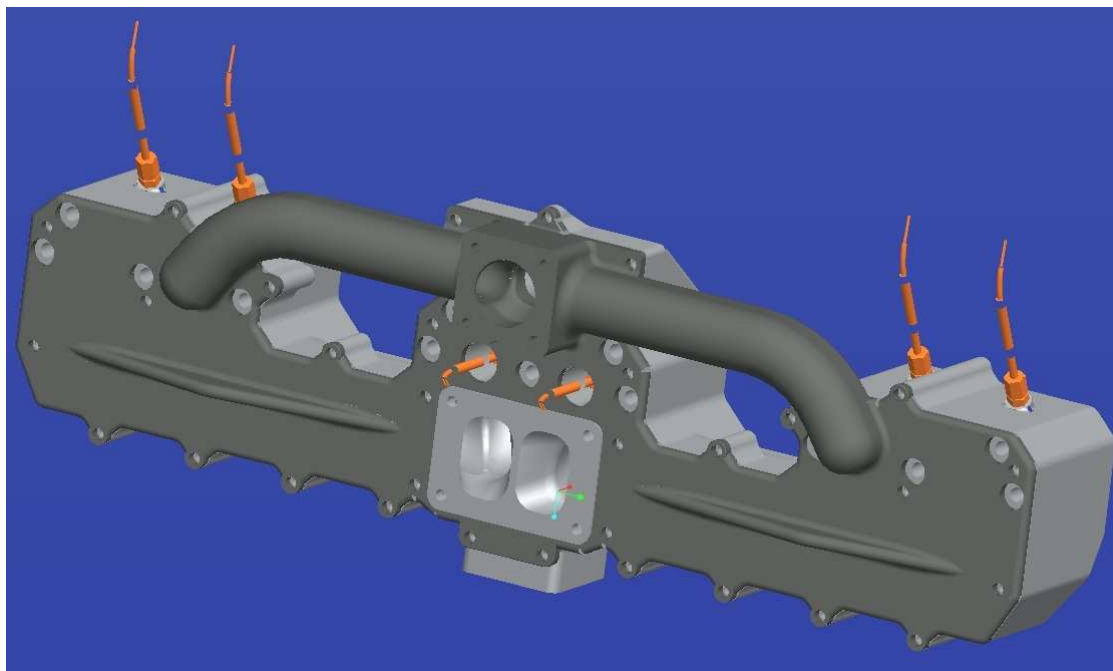


Obrázek 24 – varianta č. 5 – umístění na motoru

vyplývá, že byla splněna většina požadavků.

Ovšem tato koncepce tak jak je vidět na obrázku má stále spoustu nedostatků. Nejviditelnějším nedostatkem je velké víko dlouhé přes celou vanu výfuku. Víko tak jak vypadá, by bylo velmi náročné na technologii výroby. Další potíže by pak pravděpodobně nastaly při jeho zatěsnění. Výrobní tolerance obou odlitků jsou příliš velké a některé těsnicí plochy, zejména ty kolem prostředních termočlánků, příliš malé. Nikterak není též řešeno správné nasměrování chladicí kapaliny proudící vanou chlazeného výfuku.

I přes tyto zjevné nedostatky konstrukce je tato varianta vhodná pro rozpracování. Takto jsou splněny všechny důležité požadavky na chlazené sběrné výfukové potrubí. Přepřpracováním této koncepce, s ohledem na výše zmíněné nedostatky, by mohlo vzniknout optimální řešení.



Obrázek 25 - varianta č.5

Varianta č. 5

Vznikla rozpracováním čtvrté varianty s ohledem na technologičnost výroby a optimalizaci funkce chlazení. Koncepce vany zůstala částečně zachována. Jedna vana byla rozdělena do tří částí, které jsou vzájemně propojeny. Každá vana je pak přiklopena víkem. Šíře těsnicí plochy těchto spojů je všech jejích částech aspoň 8 mm. Prostřední dva termočlánky se přesunuly do stejné polohy, jako jsou krajní termočlánky. Ochlazená plocha povrchu výfukového potrubí je prakticky stejná jako u předchozí varianty. Vyřešena je též i možnost řízení rozdělení průtoků různými částmi výfukového potrubí tak, aby bylo možno optimalizovat chlazení různých částí výfukového potrubí.

Výběr nejvhodnější varianty

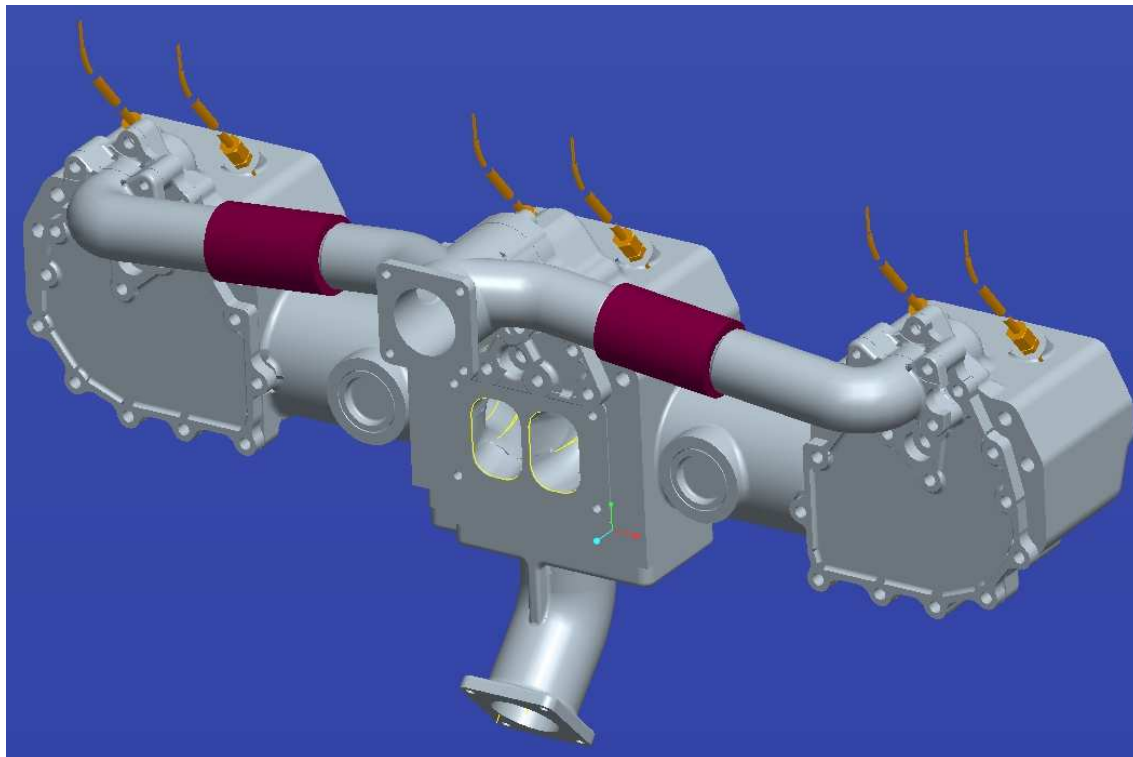
Výběr nejvhodnější varianty se zakládá na rozboru požadavků popsanych v kapitole 3.1. Dodržení stávajícího zástavbového prostoru je požadavek s velmi vysokou prioritou. Tímto jsou z možného výběru vyloučeny druhá a třetí varianta. První varianta, ačkoli relativně jednoduchá na technologii výroby a není třeba měnit zástavbový prostor, nesplňuje v dostatečné míře ostatní požadavky kladené na konstrukci chlazeného výfukového potrubí. Čtvrtá varianta je pak velmi obtížně vyrobiteľná, je zde riziko nedokonalého utěsnění a není zde možnost regulovat směr proudů chladicí kapaliny. Z těchto důvodů volím jak nejvhodnější řešení variantu č. 5.

2.6 Vlastní konstrukční řešení chlazeného výfukového potrubí

Popis hlavních částí

Jako nejvhodnější řešení byla tedy vybrána varianta č. 5. Konstrukčně se celá sestava výfuku skládá z osmi hlavních částí. (viz výkres č. KVM – BP – 232 – 00). Hlavní vanová část se skládá z vlastního výfukového potrubí z cca poloviny celého obaleného druhým pláštěm a z druhé poloviny částečně obaleno druhým pláštěm. Mezi oběma plášti pak proudí chladicí kapalina. Otevřené části druhého pláště jsou zakryty čtyřmi víky. Víka jsou uchycena šrouby M8 k hlavní vanové části. Spodní víko slouží též jako vstupní příruba pro chladicí kapalinu. Vstupní příruba je shodná s ostatními přírubami používanými v chladicím systému motoru. Krajní víka jsou zrcadlově symetrická. Uchycena k hlavní vanové části jsou pomocí šroubů M8. Na každé krajní víko je pak přišroubováno koleno. Prostřední víko je umístěné nad přírubou k turbíně. Na prostřední

víko je přišroubován slučovač. Pružné spojení krajních kolen se slučovačem je zajištěno pomocí hadic. Na slučovači je dále umístěna výstupní příruba chladicí kapaliny.



Obrázek 26 – sestava chlazeného výfukového potrubí

Popis funkce chlazení

Chlazení je zajištěno pomocí chladicí kapaliny proudící hlavním okruhem motoru. Chlazený výfuk je umístěn sériově v hlavním chladicím okruhu motoru. Teplota chladicí kapaliny je cca 86 °C. Chlazený výfuk je v chladicím okruhu zařazen před vstup chladicí kapaliny do bloku motoru. Vstup chladicí kapaliny je hrdlem na víku přišroubovaném na spodní části hlavního vanového tělesa výfuku. Odtud chladicí kapalina směřuje nahoru až k prostředním výfukovým svodům. V tomto místě se může rozdělit do tří hlavních směrů.

V přímém směru vzhůru narazí chladicí kapalina na potrubí vedoucí spaliny a začne ho obtékat. Tak se vytvoří dva proudy, které obtékají střední výfukové svody. Tyto proudy se spojí nad středními výfukovými svody v jeden proud a postupuje dále až k výstupnímu otvoru v prostředním víku.

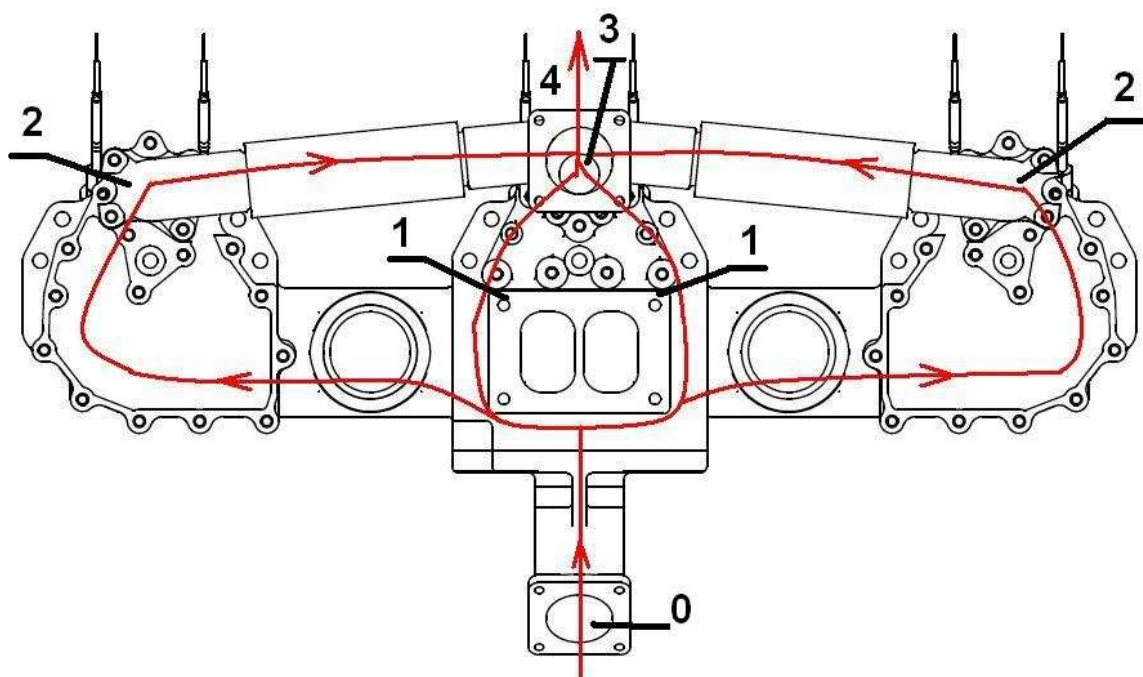
Další možné směry proudů chladicí kapaliny jsou do stran, tedy doleva a doprava. Tyto směry jsou zrcadlově symetrické, proto popíši jen jeden směr. Zmenšením průřezu průtoku chladicí kapaliny středem chlazeného výfuku se vytvoří tlak v této části. V důsledku toho se chladicí kapalina vydá cestou menšího odporu do krajů chlazeného výfuku. Zde pronikne až na kraj, ochladí krajní výfukové svody a bude dále stoupat až k výstupnímu otvoru v krajním víku. Dále pak putuje skrz koleno hadici až do slučovače, kde se všechny tři proudy setkají. Změnou průřezu otvoru v prostředním víku je možné regulovat poměr průtoku chladicí kapaliny ve prospěch střední části nebo krajních částí.

Hadice spojující slučovač a koleno jsou zvoleny tak, aby byly co nejkratší. Ze zkušenosti firmy Tedom vyplývá, že velmi krátké hadice odolávají lépe všem mechanickým namáháním.

Rozložení průřezů otvorů pro chladicí kapalinu je v tabulce č. 2 a na obrázku č. 27. Nejzazší možnost, bez snížení celkové průřezu, je vyvrtat otvor v prostředním víku o průměr 15 mm. V takovém případě by poměr rozdělení průřezů byl cca 10:1 ve prospěch krajních průřezů. V opačném případě lze otvor v prostředním víku zvětšit až na průměr 30 mm. V tomto případě by poměr průřezů byl cca 5:2. Nejmenší průřez, který není určen k regulaci, je místo 2. Ovšem když zvětšíme průměr díry v prostředním víku na 30 mm, nedojde v tomto místě k nechtěnému škrcení. Průřez tohoto místa je 948 mm², zatímco průřez otvoru o $\Phi 30$ mm je 706 mm².

Tabulka 2 – rozložení průřezů

Místo označené na obrázku	Průměr kruhového otvoru (mm)	Průřez otvoru (mm ²)
0	$\Phi 50$	1964
1	/	2 x 474
2	2 x $\Phi 34$	2 x 907
3	$\Phi 15$	176
4	$\Phi 50$	1964

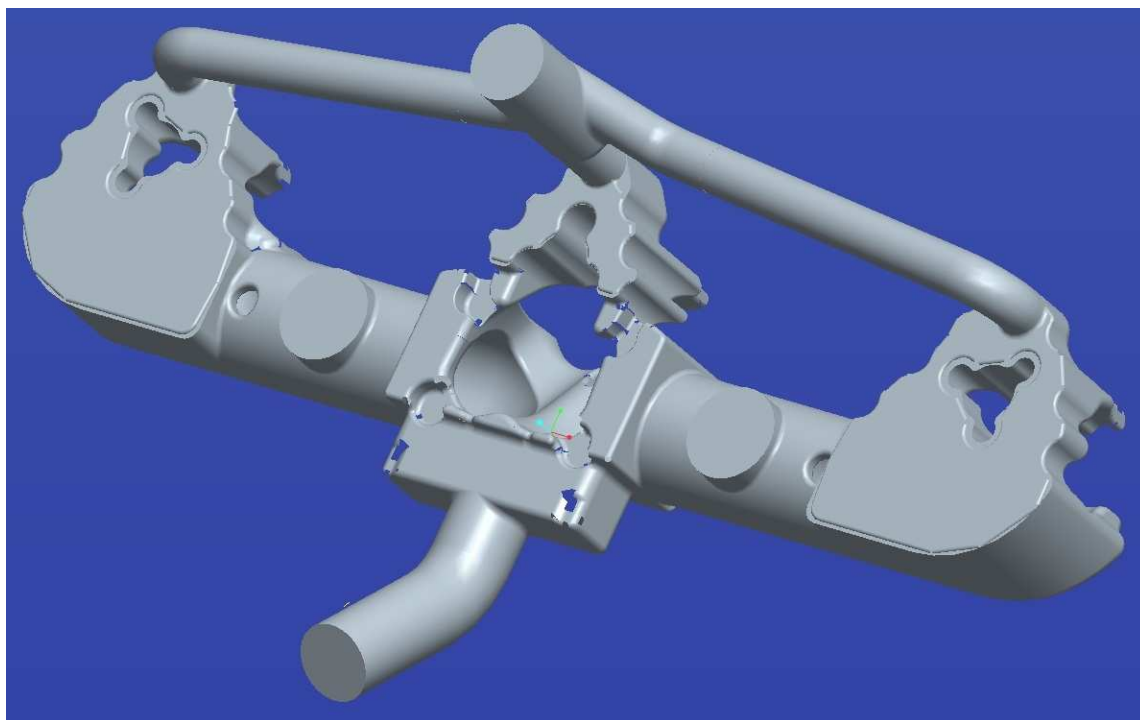


Obrázek 27 – funkční schéma oběhu chladicí kapaliny

Celý systém průtoku chladicí kapaliny chlazeným výfukem je koncipován tak, aby byl samovolně odvzdušnitelný. Jelikož je ovšem výstup z chlazeného výfuku nad vstupem chladicí kapaliny do motoru, vytvoří se neodvzdušnitelná část potrubí. V této části potrubí proto bude muset být umístěno zařízení umožňující odvzdušnění. Přesnější popis chování průtoku kapaliny chlazeným výfukem by vyžadoval simulaci. Optimalizace průtoku kapaliny chlazeným výfukem pak bude muset být dělána experimentálně. Stejně tak bude nutné určit experimentálně přestup tepla ze spalin do chladicí kapaliny a snížení teploty spalin na výstupu z výfuku. Experimentálně se též budou muset ověřit povrchové teploty tělesa chlazeného výfuku.

Žádná těsnicí plocha není typu spaliny – voda. Tím je eliminováno riziko vzniku neodhalitelné netěsnosti. Pokud by chladicí kapalina pronikala do spalin, hrozí fatální porucha turbodmychadla. Žádná těsnicí plocha též není ve tvaru T.. Tím se usnadní zatěsňování při montáži a sníží se riziko netěsnosti.

Pro lepší představu oběhu chladicí kapaliny v chlazeném výfuku je přiložen obrázek č. 28. Jedná se o model tvaru vody v chlazeném výfukovém potrubí. Z modelu je vidět kudy a jak bude proudit chladicí kapalina. Je zde též vidět, kolik povrchu výfukového potrubí je skutečně obtékáno chladicí kapalinou.



Obrázek 28 - model tvaru vody v chlazeném výfukovém potrubí

Technologie výroby hlavní vanové části

Chlazený výfuk má být, tak jak je popsáno výše, zhotoven odléváním. Hlavní část obsahující výfukové potrubí je technologicky nejnáročnější částí (viz výkres č. KVM – BP – 232 – 01). Její vlastnosti musí splňovat konstrukční požadavky. Odlitek musí být nepropustný pro spaliny o teplotě 800 °C, tlaku 500 kPa. Z těchto důvodů je nutné použití litiny. Jako metodu jsem volil lití do pískové formy.

Jako nejvhodnější variantou se zdá být použití již vyzkoušeného a osvědčeného materiálu v této aplikaci. Volím tedy stejný materiál z jakého je vyrobeno původní nechlazené výfukové potrubí. Jedná se o litinu s kuličkovým grafitem (dříve tvárná litina) ČSN 422304 legovaná 3,8 % křemíku a 0,6 – 0,8 % Molybdenem. Tento materiál má feritickou matici, pevnost v tahu je 400 MPa. Tvrdost dosahuje až 180 HB. Tažnost 15 %. Pro tento materiál hovoří i malé riziko vzniku staženin, protože tvar odlitku je tenkostěnný a nikde se nevyskytuje větší množství materiálu, které bylo extra náchylné na vznik staženin.

Jako dalším možným materiálem vhodným pro tyto účely je litina s červíkovitým grafitem (v zahraničí označovaná též jak CGI). Tento materiál se hojně používá

v automobilovém průmyslu pro dynamicky namáhané díly. Např. ŠKODA AUTO vyrábí z tohoto materiálu výfuková potrubí osobních automobilů. Dalším možným použitím je výroba tenkostěnných bloků motoru. Litina s červíkovitým grafitem má oproti litině s kuličkovitým grafitem vyšší koeficient tepelné vodivosti. $\lambda = 25\text{-}35 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ pro LKG. $\Lambda = 35 - 53 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ pro LČG¹. Litina s červíkovitým grafitem by tak měla lepší slévárenské vlastnosti z hlediska vzniku pnutí a trhlin.

Tloušťka stěny potrubí vedoucí spaliny jsem zvolil 5 mm, stejně jako je tomu u původního nechlazeného výfukového potrubí. Tato tloušťka je technologicky v pořádku pro jakoukoliv litinu. Vnější opláštění je ve většině případů tvořeno tloušťkou stěny 8 mm. Tuto tloušťku jsem zvolil z důvodu dostatečného zaběhnutí materiálu. Tato tloušťka stěny se zdá být vhodnou i z důvodu mechanických vlastností odlitku. Dostatečná tuhost je předpoklad pro možnost dobrého utěsnění vík.

Dělicí rovina je zalomená tak aby vždy procházela uložením jaderníků pro vytvoření dutina trubky vedoucí spaliny. Vnější tvar odlitku je zvolen tak, aby nikde nebylo podformování a nebylo třeba využívat nepravých jader. Toho bylo docíleno za cenu kumulace materiálu na určitých místech. Tato místa jsou však dobře přístupná z vnějšku a jsou tedy i vhodná pro umístění technologických nálitků.

Obtížnou částí odlévání tohoto odlitku je pak dodržení tolerancí specifikovaných na výkrese pro umístění otvorů výfukových spalín. Pokud budou tyto tolerance výrazně překročeny, dojde k nedokonalému slícování výfukového potrubí a výfukových kanálů v hlavách válců. Toto by mohlo způsobit značné ztráty, v extrémním případě i netěsnost výfukových spalín.

Jádra vytvářející dutinu pro chladicí kapalinu jsou potom uložena kolmo na dělicí rovinu a podpírána v šesti místech. Dvě tato místa jsou pak zajištěna pomocí technologických otvorů v „krcích“ spojujících vany. Relativní otevřenost všech tří van spolu se dvěma technologickými otvory a velkým spodním vstupním otvorem pak nabízejí možnost dostatečného vyčištění odlitku.

Množství obráběných ploch na odlitku bylo minimalizováno. Konstruováno bylo tak, aby na sobě tyto plochy nebyly tolerančně závislé. Největší pozornost je třeba věnovat těsnicím plochám dosedajícím na hlavy válců. Tyto tři plochy jsou na sobě tolerančně

¹ LČG – litina s kuličkovým grafitem

závislé a musí splňovat dostatečnou rovinnost specifikovanou na výkrese (viz příloha 10 – výkresová dokumentace). Pokud nebude rovinnost těchto ploch splněna, nelze zaručit dostatečnou těsnost spoje výfukové potrubí – hlava motoru, která by zamezila úniku spalin do prostoru. Ostatní plochy již na sobě závislé nejsou. Je třeba dodržet pouze rovinnost předepsanou pro konkrétní plochu. Důležité je též dodržet kolmost děr průměru 11 pro nosné závrtné šrouby M10 vůči dosedací ploše na hlavy válců. Pokud nebudou tyto kolmosti dodrženy, hrozí obtíže při montáži chlazeného výfukového potrubí na motor. Jako zbytečně obtížné se jeví frézování dosedacích ploch pro termočláanky a vrtání děr a výroba závitů pro stejnou součást. Tyto plochy a otvory jsou vůči ostatním plochám v obecném úhlu, bude proto tedy vhodné využít pětiosé frézovací centrum. Termočláanky ovšem nemohou být umístěny jinak nebo jinde.

Volba materiálu ostatních součástí

Všechny dále popisované součásti již nepřichází do kontaktu se spaliny. Jejich hlavní úlohou je pouze zatěsnit prostor pro chladicí kapalinu. Není proto nutné využívat pro jejich výrobu materiály odolné teplotám spalin. Můžeme proto využít jiné materiály než litiny. Ačkoli se dnes, hlavně v automobilovém průmyslu, využívá „pro armatury v chladicím okruhu vozidla, plastů, já se tomuto řešení vyhnu. Na stacionárních motorech není třeba takové úspory hmotnosti. Je zde naopak potřeba vyšší spolehlivosti, kterou víko vyrobené z plastu nemůže poskytnout. Důkazem toho jsou poruchy z praxe. Např. běžně praskající tělesa termostatů na Škodě Felicii 1.3 MPI. Proto volím materiál výrazně lehčí než litina, slitinu na bázi hliníku. Vhodnou slévárenskou slitinou na bázi hliníku je silumin. Jedná se o slitinu hliníku a křemíku. Obsah křemíku ve slitině je od 4,5% do 15%. Z hlediska slévateľnosti by byl vhodnou variantou silumin eutektického složení s asi 10 – 13 % křemíku. Taková to slitina dobře vyplňuje formu, málo se smršťuje, má velmi dobrou zabíhavost a je málo náchylná k tvorbě trhlin za tepla. Jelikož jako technologii výroby jsem zvolil lití do pískových forem, bylo by z technologického hlediska vhodné užití siluminu podeutektického (4,5 – 10 % křemíku).

Hliníkovou slitinu volím dle doporučení firmy Tedom - ČSN EN 1706 AC - 43000ST6 AL Si10Mg(a)ST6. Z této slitiny jsou vyráběny všechny součásti chladicího okruhu motoru.

Musíme brát ovšem v úvahu, že budou pevně spojeny dva materiály s rozdílnou tepelnou roztažností. Součinitel teplotní délkové roztažnosti litiny s kuličkovým grafitem je $11 - 13 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Oproti tomu je teplotní délková roztažnost slitin hliníku $24 - 28 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Tyto rozdíly je možné kompenzovat úpravou vlastností jednoho či druhého materiálu. Jednou možností by bylo použití siluminu nadeutektického složení (více než 13% Si). Takový to silumin má výrazně nižší teplotní roztažnost než siluminy eutektické či podeutektické. Proto jsou využívány pro výrobu pístů spalovacích motorů. Druhou a běžnější možností je přidáním přísady niklu do litiny. Při 18 % Ni je možné zvýšit délkovou teplotní roztažnost litiny až na $\alpha = 18 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Pak ideálním řešením je využití obou materiálů, které budou mít, díky změnám svých vlastností popsaných výše, podobnou délkovou teplotní roztažnost.

Výhodou zhotovení vík z hliníkové slitiny je snížení hmotnosti celé sestavy chlazeného výfuku. Podrobné rozepsání úspory hmotnosti je v tabulce č. 3.

Objemy v tabulce byly zjištěny pomocí programu Pro/Engineer z modelů jednotlivých součástí. Hodnoty hustoty byly převzaty z tabulek. Hodnota hustoty pro hliníkovou slitinu je hodnotou obecnou, nikoli hodnotou konkrétní vybrané hliníkové slitiny.

Tabulka 3 – výpočet rozdílu hmotností dílů vyrobených z litiny nebo hliníku

	Objem (mm ³)	Hustota litiny (kg/m ³)	Hustota hliníkové slitiny (kg/m ³)	Hmotnost části zhotovených z litiny (kg)	Hmotnost částí zhotovených z hliníkové slitiny (kg)
Krajní víka	552674	7000	2700	3,86	1,49
Kolena	276 956			1,9	0,74
Střední víko	139005			0,97	0,37
Slučovač	353190			2,47	0,95
Spodní víko	414073			2,89	1,12
Celkem	1735898			12,1	4,7

Jelikož se však hodnoty hustot různých hliníkových slitin výrazně neliší, je chyba zanedbatelná. Po spočtení hmotností jednotlivých dílů je zřejmé, že použitím hliníkové

slitiny snížíme hmotnost celé sestavy o 7,4 kg. Tato hodnota není zanedbatelná a předčí všechny nevýhody plynoucí z různých vlastností materiálů pevně spojených.

Technologie výroby prostředního víka

Technologie výroby odlitku samotného je litím do pískových forem. Dělicí rovina není lomená a prochází rovnoběžně s dosedacími plochami. Otvor průměru 30 mm a otvor průměru 22 mm jsou předlitý. Obvodová žebra zajišťují dostatečnou tuhost odlitku (viz výkres KVM – BP – 232 – 02). Obrábění bylo minimalizováno na frézování dvou ploch a dosedacích ploch pro šrouby. Z důvodů dostatečné těsnosti je nutno dodržet toleranci rovinnosti dle výkresu. Nutností je též dodržení rovnoběžnosti všech ploch, z důvodu dosednutí šroubů na plochu kolmou k jejich ose. Ze stejného důvodu je pak nutno dodržet toleranci kolmosti.

Technologie výroby krajního víka

Obě krajní víka jsou zrcadlově symetrická, proto popíše pouze jedno. Dělicí rovina krajního víka je jedna, není lomená a prochází rovnoběžně s dosedacími plochami. V odlitku je předlit otvor o průměru 34 mm (viz výkres KVM – BP – 232 – 02). Dostatečná tuhost je zajištěna pomocí obvodových žeber. Obrobené plochy jsou dvě, na sobě tolerančně závislé rovnoběžnosti. Obrobené jsou též dosedací plochy pro šrouby. Z důvodů dostatečné těsnosti spojů, je nutné dodržet předpis tolerance rovinnosti dle výkresu. Tolerance kolmosti a rovnoběžnosti je nutné dodržet z důvodu dosednutí šroubů na plochu kolmou k jejich ose

Technologie výroby kolen

Obě krajní kolena jsou zrcadlově symetrická, proto popíše opět jen jedno. Dělicí rovina prochází kolmo na dosedací plochu. Z důvodu snadného vyjímání z formy je nutné vytvořit technologický úkos (viz výkres KVM – BP – 232 – 06). Tento úkos je ovšem kvůli následnému usnadnění montáže nutno obrobit, aby bylo možno zastrčit šroub do díry. Pokud by toto místo nebylo obrobena, bylo by nutno dodržet specifický montážní postup. Viz kapitola **Popis montáže**. Plochy jsou obrobena dvě. Těsnicí plocha a dosedací plochy pro šrouby. Je nutno u nich dodržet toleranci rovinnosti i rovnoběžnosti. Z důvodu dosednutí šroubů na plochu kolmou k jejich ose je uvedena tolerance kolmosti. Hrdlo pro hadici je též obrobena.

Technologie výroby slučovače

Dělicí rovina tohoto odlitku je lomená tak, aby bylo možno snadno vyjmout model z formy. Úhel, který svírají obě krajní hrdla, znesnadňuje odlévání. Nutný je ovšem kvůli snadnějšímu odvodu při funkci chlazeného výfuku. Předlity jsou všechny kanály pro chladicí kapalinu. (Viz výkres č. KVM – BP- 232 – 03). Obrobeny jsou dvě plochy a dosedací plochy pro šrouby. Obrobena je též hrdlo pro hadici. Plochu dosedající na prostřední víko je nutno vyrobít s tolerancí rovinnosti dle výkresu. Stejně tak plochu výstupní příruby chladicí kapaliny. Tolerance rovnoběžnosti dosedacích ploch šroubů a kolmostí děr šroubů je nutno dodržet z důvodu správného dosednutí šroubu.

Popis montáže

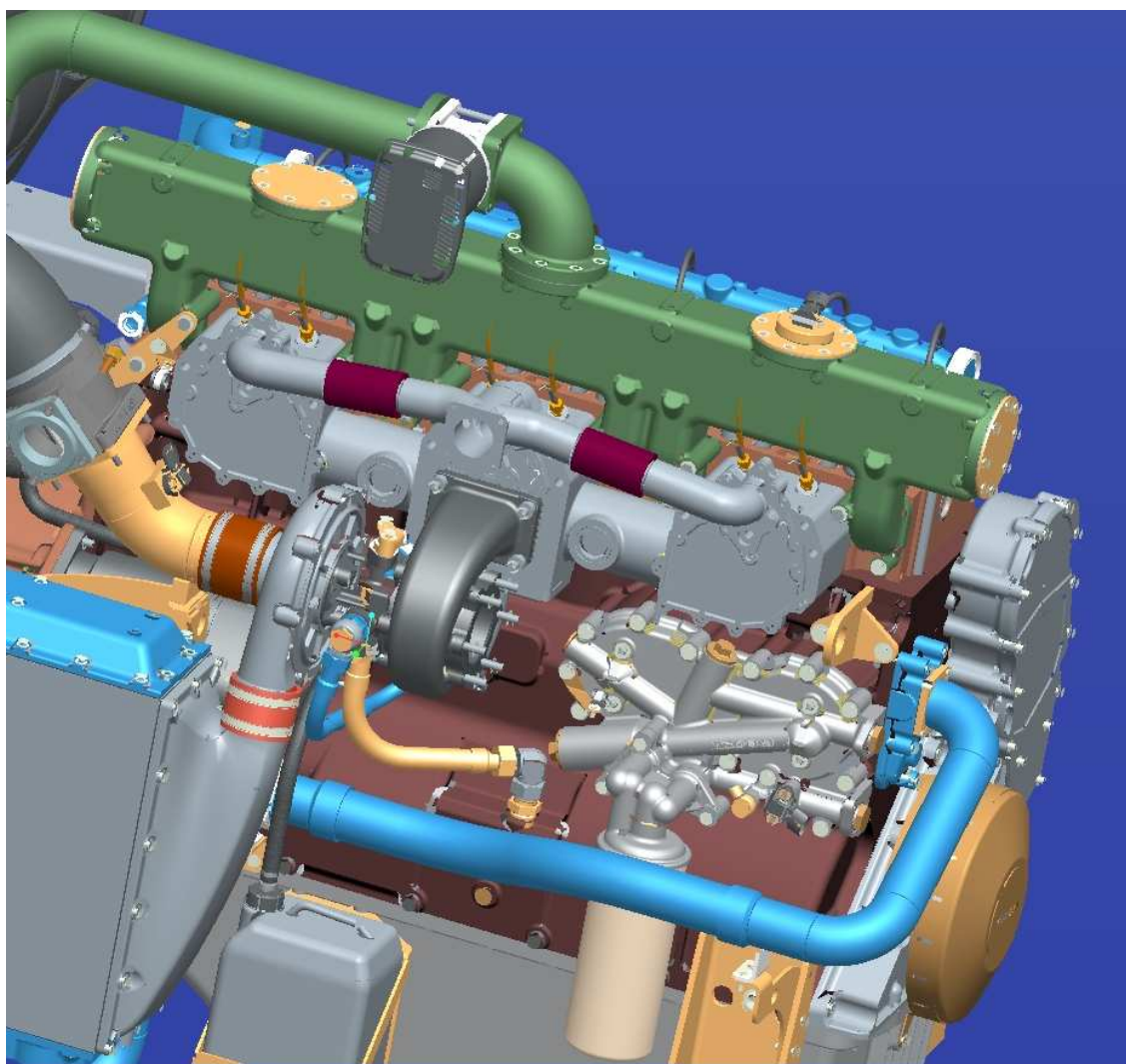
Celá sestava (viz výkres KVM – BP – 232 – 00) je uchycena k hlavám válců pomocí patnácti závrtných šroubů M10. Takto je využito všech dostupných děr se závity M10 v hlavách válců. Každé víko je uchyceno pomocí šroubů M8 k hlavní vanové části. Všechny těsnicí plochy jsou minimální šíře 8 mm. Tento rozměr by měl být postačující k dostatečnému překrytí dosedacích ploch, vezmeme-li v úvahu nepřesnosti odlitku. Všechny šrouby M 10 jsou montážně dostupné i po celkovém sestavení celé sestavy. Proto je možné celou sestavu výfuku namontovat na motor najednou. Všech šest termočlánků je dostupných před i po montáži sestavy chlazeného výfuku na motor. Tím je zajištěna jejich snadná vyměnitelnost v případě jejich poruchy. Vstupní i výstupní příruba chladicí kapaliny je stejná s přírubami již použitými na motoru v chladicím okruhu.

Jelikož jsou dosedací plochy pro matice na závrtných šroubech M10 utopeny v dutině víka, je třeba použít speciálních distančních podložek (viz výkres KVM – BP – 232 - 15). Tím se matice dostane mimo dutinu víka a je jí možno dotáhnout pomocí běžného nástrčkového klíče.

Postup montáže je následující. Na očištěnou vanu, položenou na těsnicích plochách k hlavám válců, se umístí těsnění na všechna tři místa, která se mají zatěsnit víky. Následně se položí víka a přišroubují pomocí šroubů s vnitřním šestihranem M8. Pod každý šroub se umístí podložka. Následně se umístí těsnění na víka a přišroubují se obě kolena a slučovač pomocí šroubů s vnitřním šestihranem M8. Při montáži těchto

součástí je též nutné zároveň s nimi namontovat hadice, jež tyto součásti spojují. Vhodná hadice je např. od firmy Tubes International typu Zincoflex – C o vnitřním průměru 40 mm odolná teplotám až 130 °C. Hadice jsou na hrdlech zajištěny sponami ASFA S 12 - W4. Nakonec se namontuje spodní víko, pod které též přijde těsnění, pomocí šroubů M8 s vnitřním šestihranem. Takto smontovanou sestavu je možné namontovat na motor. Termočláanky je možné namontovat až po montáži sestavy na motor.

Po montáži chlazeného výfuku na motor je možné namontovat turbodmychadlo pomocí čtyř závrtných šroubů M10. Do ložiskové skříně turbodmychadla vedou trubky vedoucí chladicí kapalinu a olej. Pro připojení trubky chladicí kapaliny k ložiskové skříně turbodmychadla pomocí šroubu, je nutný montážní prostor. Tento prostor je vytvořen vybráním v hlavní vanové část chlazeného výfuku.



Obrázek 29 - chlazený výfuk namontovaný na motoru

Pokud vytvoříme obráběním vybrání v součásti koleno (viz výkres KVM – BP – 232 – 06), je možné sejmout krajní víka bez demontáže kolene. V opačném případě je nutné sundat první koleno a až poté krajní víko.

Zatěsnění technologických otvorů v hlavním vanovém dílu chlazeného výfuku je provedeno nalisováním zátek stejně, jako je to provedeno u hlav motoru. Zátka je stejná, co se týče materiálu i rozměrů, se zátkou použitou v hlavě válců. (viz výkres KVM – BP – 232 – 9).

Těsnění pod víka jsou zhotovena z materiálu TEMAC TS-9013+2A/S o tloušťce 1,2 mm. Tento materiál je běžně používán k zatěsnění chladicí kapaliny na motoru. Výkresy těsnění jsou ve výkresové příloze. (viz výkresy KVM – BP – 232 – 10 až KVM – BP – 232 – 14)

Nutné změny zástavbového prostoru

Tato varianty byla koncipována tak, aby nebylo nutno měnit stávající zástavbový prostor. Polohy hlavních částí, jako je turbodmychadlo a sací potrubí zůstaly zachovány. Změnit je ovšem nutno trasu některých potrubí. Jedná se tedy hlavně o potrubí vedoucí chladicí kapalinu a olej do ložiskové skříně turbodmychadla. Poloha přípojných bodů zůstane zachována. Změní se pouze trasa a nosné úchyty potrubí.

Závěr

V první kapitole byla provedena rešerše problematiky chlazení výfukového potrubí. Na různých aplikacích byly ukázány důvody chlazení výfukového potrubí. Byly popsány různé konstrukce z hlediska jejich výroby, oblasti použití i jejich vlastností závislé na způsobu aplikace chlazeného výfukového potrubí.

Cílem této bakalářské práce bylo zkonstruovat chlazené výfukové potrubí na stacionární motor firmy Tedom. Mezi hlavní požadavky na konstrukci chlazeného výfuku patří zachování stávajícího zástavbového prostoru, ochlazení co možná největší plochy výfukového potrubí, souměrné ochlazení spalin. Chlazený výfuk měl být zkonstruován jako odlitek a měl by být samovolně odvodušnitelný.

Mnou navržená konstrukce splňuje většinu těchto požadavků. Výfuk je zkonstruován jako odlitek. Jeho hlavní část vedoucí spaliny je odlita z litiny. Víka a armatury vedoucí chladicí kapalinu jsou zhotovena z hliníkové slitiny. Chladicí kapalina obtéká většinu povrchu výfukového potrubí. Přesto nelze bez experimentálního měření s jistotou tvrdit, že nikde na povrchu tělesa výfuku nebude velmi horké místo s teplotou výrazně vyšší, než je teplota chladicí kapaliny. Zástavbový prostor se v zásadních parametrech neliší od původního. Umístění turbodmyhadla i sacího potrubí zůstalo zachováno. Změněna musí být ovšem trasa potrubí vedoucího chladicí kapalinu a olej do ložiskové skříně turbodmyhadla. Souměrné ochlazení spalin je zajištěno symetrickým prouděním chladicí kapaliny, které je symetrické. Těleso chlazeného výfuku je samovolně odvodušnitelné. Výstup chladicí kapaliny z chlazeného výfuku je však nejvyšším bodem chladicího systému. Na potrubí mezi chlazený výfuk a motor bude proto nutné umístit zařízení umožňující odvodušnění chladicího systému. Na každý jednotlivý svod od válce je možno umístit termočlánek pro monitorování teploty spalin.

Hlavní cíl této bakalářské práce, konstrukce chlazeného výfukového potrubí, byl splněn. Dodržena byla velká většina požadavků firmy Tedom na vlastnosti chlazeného výfuku. Optimální oběh chladicí kapaliny a s ním spojené ochlazení tělesa výfuku je ovšem ještě nutno experimentálně optimalizovat změnou již předpřipravených průtokových průřezů pro chladicí kapalinu..

Seznam použité literatury

- [1]. NOVÁ I., NOVÁKOVÁ I., BRADÁČ J., *Technologie I. - slévání a svařování*, ISBN 80-7372-052-3, Technická universita v Liberci, březen 2006
- [2]. PUSTKA Z., *Základy konstruování (Tvorba technické dokumentace)*, 2. vydání, ISBN 80-7372-000-6, Technická universita v Liberci, prosinec 2005
- [3]. PEŠÍK L., *Části strojů 1. díl*, 4. doplněné vydání, ISBN 978-80-7372-573-0, Technická universita v Liberci, březen 2010
- [4]. PEŠÍK L., *Části strojů 2. díl*, 4. doplněné vydání, ISBN 978-80-7372-574-7, Technická universita v Liberci, březen 2010
- [5]. LEINVEBER J., VÁVRA P., *Strojnické tabulky*, ISBN 80-864990-74-2, ALBRA – pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2003
- [6]. BEDNÁŘ B., ŠANOVEC J., ČERMÁK J., MICHÁLEK L., *Technologičnost konstrukce I.*, ČVUT v Praze FS.
- [7]. MOTORGAS s.r.o. , poslední revize 17.5.2012. Dostupné z WWW:
<<http://www.motorgas.cz/cz/vyrobek/mgw-350-biopllyn/>>
- [8]. HERENIUS J. F., *United States Patent. 4 187 678*, 29. červenec 1980, Angličtina. Poslední revize 17.5.2012. Dostupné z WWW:
<<http://www.google.fr/patents/US4187678.pdf>>
- [9]. Marinemechanic.com, San Diego, California, webové stránky zabývající se lodními motory a opravou lodí. Angličtina. Poslední revize 17. 5. 2012. Dostupné z WWW:
<<http://www.marinemechanic.com/site/page66.html>>
- [10]. All Forklift Parts, Fontana, California, Poslední revize 17.5.2012, Angličtina. Dostupné z WWW:
<<http://www.allforkliftparts.com/pdf/Section%20%286%29%20-%20Exhaust%20System.pdf>>
- [11]. Northern lights, Corporate Headquarters, Seattle, WA, Poslední revize 17.5.2012. Angličtina: Dostupné z WWW:
<http://www.northern-lights.com/PDFs/misc_pdfs/dont_drown_me.pdf>
- [12]. Maritime Journal, Mercator Media Ltd., poslední revize 17.5.2012, Angličtina. Dostupné z WWW:
<http://www.maritimejournal.com/features101/power-and-propulsion/perkins_sabre_replace_m90>

- [13]. Marine exhaust system of Alabama INC., poslední revize 17.5.2012, Angličtina, Dostupné z WWW:
<<http://www.mesamarine.com/aftermarket.htm>>
- [14]. Ferrit Slovakia s. r. o., poslední revize 17.5.2012, Dostupné z WWW:
< <http://www.ferrit.sk/>>
- [15]. Perkins Engines Company Limited, Poslední revize 17.5.2012. Angličtina.
Dostupné z WWW:
<<http://www.perkins.com/cda/files/289086/7/1006TAG+ElectropaK+PN1578.pdf>>
- [16]. TEDOM a.s., Poslední revize 17.5.2012. Dostupné z WWW:
<<http://cz.tedomengines.com/>>
- [17]. Materiály poskytnuté firmou Tedom a.s.

Seznam příloh:

1. Značení vozidlových motorů firmy Tedom
2. Značení stacionárních motorů firmy Tedom

Seznam výkresů:

1. Výkres KVM-BP-232-00
2. Výkres KVM-BP-232-01
3. Výkres KVM-BP-232-02
4. Výkres KVM-BP-232-03
5. Výkres KVM-BP-232-04
6. Výkres KVM-BP-232-05
7. Výkres KVM-BP-232-06
8. Výkres KVM-BP-232-07
9. Výkres KVM-BP-232-08
10. Výkres KVM-BP-232-09
11. Výkres KVM-BP-232-10
12. Výkres KVM-BP-232-11
13. Výkres KVM-BP-232-12
14. Výkres KVM-BP-232-13
15. Výkres KVM-BP-232-14
16. Výkres KVM-BP-232-15

Příloha č. 1:

značení vozidlových motorů firmy Tedom

Obchodní značka	Typ paliva	Mezera	Jmenovitý výkon motoru	Mezera	Oblast použití	Krouticí moment	Provedení motoru	Mezera	Přepínání	Způsob chlazení	Mezera	Emission limity
T- Tedom	G - zemní plyn		Výkon v kW		A - automobilový	0 = 1000 Nm 1 = 1100Nm 9 = 1900 Nm	V - stojaté L - ležaté		T - přepínaný N - nepřepínaný	A - mezichladič vzduch/vzduch W - mezichladič voda/vzduch X - bez mezichladiče		01- Euro 1 05 - Euro 5 EEV -EEV 06 - Euro 6 23 - UIC I 24 - UIC II 25 - UIC III.A 26 - UIC III.B XY - ISO

Příloha č. 2

značení stacionárních motorů firmy Tedom

Obchodní značka	Typ paliva	Mezera	Jmenovitý výkon motoru	Mezera	Oblast použití	Jmenovité otáčky	Provedení motoru	Mezera	Přepíňování	Způsob chlazení	Mezera	Emisní limity
T- Tedom	G - zemní plyn		Výkon v kW		G - generátorové soustrojí D - pohonná jednotka P - čerpací jednotka	5 - 1500 ot/min 8 - 1800 ot/min	V - stojaté L - ležaté		T - přepíňovaný N - nepřepíňovaný	A - mezichladič vzduch/vzduch W - mezichladič voda/vzduch X - bez mezichladiče		70 -EPA 84 - méně než 2000 mg NOx 85 - méně 1000 mg NOx 86 - TA LUFT 86 87 - 1/2 TA LUFT 86 88 - méně než 50 mg (NOx, CO, HC) 92 - TA LUFT 92 XY - ISO
	D - nafta											
	N - Bionafta											
	P, propan -butan											
	H - Vodíkové plyny											
	B - bio-plyn											
	S - čistírenský plyn											
	L - skládkový plyn											
	W - dřevoplyn											
	R- řepkový olej											